

TA/TL/2006/0111

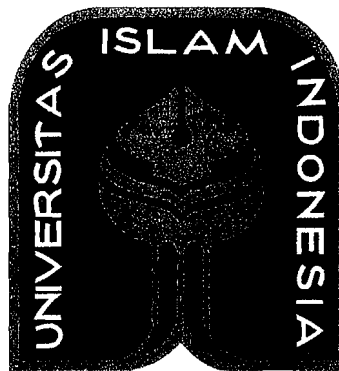
PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAH/BELE	
TGL. TERIMA :	26 April 2007
NO. JUDUL :	022404
NO. INV. :	5120002404001
NO. INDEK. :	

TUGAS AKHIR

**PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN FENOL PADA  
LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT DENGAN MENGGUNAKAN  
REAKTOR AEROKARBONFILTER**

**Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi sebagian  
persyaratan memperoleh Derajat Sarjana Teknik Lingkungan**

R.  
Bod y  
Rus  
P  
I



*Disusun Oleh :*

**Nama : RUSLAN**

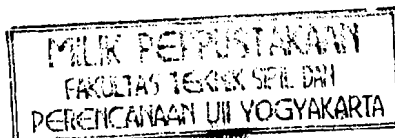
**No. MHS : 02 513 013**

10086  
xiv, Diambil dari  
samp. gas  
kilau  
logo di ganti

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA**

**2006**

Al. high air  
perubahan air  
Lendir Cas' RS  
unitok reaktor  
aero karbon filter  
- judul



# LEMBAR PENGESAHAN

## PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN FENOL PADA LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR AEROKARBONFILTER

Nama : **RUSLAN**

No. MHS : **02 513 013**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

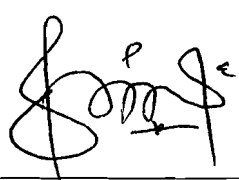
**Dosen pembimbing I**

**Ir. H. Kasam, MT**

  
Tanggal : **6-9-2006**

**Dosen pembimbing II**

**Eko Siswoyo, ST**

  
Tanggal : **6-9-2006**

## *Halaman Persembahan*

*Karya kecilku ini khusus ku persembahkan bagi orang-orang yang telah  
sabar, tulus dan setia telah memberikan rasa cinta dan kasih sayang*

*Tanpa mengenal lelah*

*Tanpa sedikitpun mengharap jasa*

*Kecuali mengharapkan ridho-Nya*

*Ayah dan Ibunda tercinta,*

*Muhammad dan Halimah*

*Yang telah membesarkanku, mendo'akan dan memberikanku setiap tetes*

*keringatnya sepanjang hayat*

*Kakak-kakak ku dan adik ku*

*Yang terus - menerus memberikan dorongan, semangat untuk maju*

*Dan Yang telah banyak memberikan makna dari persaudaraan*

*Baik dalam suka maupun duka*

*Kasih kalian tak terbatas, tak pernah berubah oleh jarak dan waktu*

## MOTTO

*"Maka sesungguhnya beserta kesukaran ada kemudahan  
Maka bila kamu telah selesai (dari suatu urusan), maka kerjakanlah (urusan  
yang lain) dengan sungguh – sungguh  
Dengan kepada tuhan-mu hendaknya kamu berharap"  
(Q. S Al Insyirah: 5 - 8)*

*".....Katakanlah, " adalah semua orang – orang yang mengetahui dengan  
orang – orang yang tidak mengetahui ?, sesungguhnya orang yang berakal-lah  
yang dapat menerima pelajaran.  
(Q. S. Az Zumari : 9)*

*"Sahabat yang paling baik dari kebenaran adalah waktu, musuhnya yang paling  
besar adalah prasangka, dan pengiringnya yang paling setia adalah kerendahan  
hati".  
(Caleb Charles Colton).*

*"Keberhasilan tidak diukur dengan apa yang telah anda raih,  
Namun kegagalan yang telah anda hadapi dan  
Keberanian yang telah membuat anda tetap berjuang melawan rintangan yang  
datang bertubi – tubi".  
(Orison Swett Marden).*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu alaikum Wr. Wb.*

*Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, shalawat dan salam ditujukan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW, keluarga dan para sahabat, karena berkat kegigihan beliau membawa kita keluar dari jaman kegelapan menuju jaman yang terang benderang ini. Alhamdulillah dengan segala kemampuan dan kekurangan penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Penurunan Konsentrasi BOD dan Fenol pada Limbah Cair Rumah Sakit Dengan Menggunakan Reaktor Aerokarbonfilter”**.*

*Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.*

*Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini penyusun tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan sehingga penyusun menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu penyusun sangat mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.*

*Selama menyelesaikan tugas akhir ini, penyusun banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada:*

1. *Bapak DR. Ir. H Ruzardi MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.*
2. *Bapak Lukman Hakim, ST. Msi, selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.*
3. *Bapak Eko Siswoyo, ST selaku koordinator TA*
4. *Bapak Ir. H Kasam MT, selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah bersedia meluangkan waktu dan membimbing serta mencurahkan pikirannya untuk memberi masukan-masukan kepada penulis.*
5. *Bapak Eko Siswoyo ST, selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir yang telah bersedia memberikan waktunya dan banyak memberikan masukan dan saran dalam penyusunan laporan ini.*
6. *Bapak Hudori, ST selaku dosen Jurusan Teknik Lingkungan.*
7. *Bapak Andik, ST selaku dosen Jurusan Teknik Lingkungan yang bersedia menjawab setiap pertanyaan saya even via e- mail.*
8. *Mas Agus Adi Prananto, selaku staf Jurusan Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dan direpotkan untuk administrasi.*
9. *Mas Tasyono, Amd dan Mas Iwan Amd, selaku laboran yang telah banyak membantu dan memberi masukan dalam analisa laboratorium.*
10. *Bapak-bapak dan Ibu-ibu petugas BTKL jogjkarta.*
11. *Kedua orang tua dan seluruh keluarga ku yang tercinta yang telah memberikan kesempatan dan kepercayaan untuk menimba ilmu di Yogyakarta, semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dan ketulusan*

*yang telah kalian berikan, amien. You know, i'm really proud to be part of you*

*12. Teman seperjuangan The Aerocarbonfilter crew ; Imunk, Wati, Bom-bom, Aconk*

*13. Teman-teman angkatan 2002 khususnya, dan '99, '00, '01, '03, yang saya kenal dan yang mengenal saya.*

*14. Teman-teman kost ; Gondes, Inem, Mondronk, Qabul, Asmuni, Pak Tile, Pak Yanto, semoga kita memahami makna dari sebuah persahabatan.*

*15. Semua pihak yang telah memberi bantuan yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.*

*Akhirnya penyusun sangat berharap agar tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun sendiri maupun bagi semua pihak yang menggunakan laporan ini.*

*Wassalamu' alaikum Wr. Wb.*

Jogjakarta, Agustus 2006

Penyusun

**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>ABSTRAKSI</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>Bab I Pendahuluan</b> .....	1
1.1 <b>Latar Belakang</b> .....	1
1.2 <b>Rumusan Masalah</b> .....	4
1.3 <b>Tujuan Penelitian</b> .....	4
1.4 <b>Batasan Masalah</b> .....	5
1.5 <b>Manfaat Penelitian</b> .....	5
1.6 <b>Sistematika Penulisan Laporan</b> .....	6
<b>Bab II Tinjauan Pustaka</b> .....	7
2.1 <b>Rumah Sakit</b> .....	7
2.2 <b>Karakteristik Limbah Rumah Sakit</b> .....	8



2.3	Pengaruh Limbah Rumah Sakit Terhadap Lingkungan .....	12
2.4	Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit .....	13
2.5	Parameter Penelitian .....	17
2.5.1	BOD ( <i>Biological Oxygen Demand</i> ) .....	17
2.5.2	Fenol .....	19
2.6	Reaktor Aerokarbonfilter .....	21
2.6.1	Aerasi .....	21
2.6.1.1	Kejenuhan Oksigen .....	22
2.6.1.2	Jenis Aerasi .....	24
2.6.1.3	Tipe-tipe Aerator .....	26
2.6.2	Karbon Aktif .....	27
2.6.2.1	Struktur Karbon Aktif .....	38
2.6.2.2	Sifat Karbon Aktif .....	30
2.6.2.3	Daya Serap Karbon Aktif .....	31
2.6.2.4	Proses Pembuatan Karbon Aktif .....	33
2.6.2.5	Penggunaan Karbon Aktif .....	35
2.6.3	Zeolit .....	35
2.6.3.1	Sifat Zeolit .....	37
2.6.3.2	Struktur Zeolit .....	40
2.6.3.3	Kegunaan Zeolit .....	41
2.6.3.4	Aktivasi Zeolit .....	41
2.6.4	Filtrasi .....	42
2.6.4.1	Susunan Kimia Pasir .....	43

2.6.4.2	Karakteristik Fisik Pasir .....	44
2.6.4.3	Mekanisme Filtrasi .....	46
2.6.5	Adsorpsi .....	47
2.6.5.1	Mekanisme Adsorpsi .....	48
2.6.5.2	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi .....	49
2.6.5.3	Isotherm Adsorpsi .....	51
2.6.5.4	Regenerasi Karbon .....	53
2.7	Hipotesis .....	53
<b>Bab III Metode Penelitian .....</b>		<b>54</b>
3.1	Lokasi Penelitian .....	54
3.2	Ruang Lingkup Penelitian .....	54
3.3	Objek Penelitian .....	55
3.4	Variabel Penelitian .....	55
3.5	Aerokarbonfilter .....	55
3.5.1	Desain Reaktor .....	55
3.5.2	Dimensi Reaktor .....	56
3.5.3	Pembuatan Reaktor .....	57
3.6	Analisa Kualitas Sampel .....	58
3.7	Analisa Data .....	58
3.8	Diagram Alir Penelitian .....	61
<b>Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan .....</b>		<b>62</b>
4.1	Hasil Pengujian Kadar BOD dan Fenol Setelah Proses Pengolahan.....	63

4.1.1	Hasil Pengujian dan Penurunan Kadar BOD dan Fenol pada Media Aerasi, Adsorpsi, dan Filtrasi .....	63
4.1.2	Penurunan Kadar BOD dan Fenol pada Proses Aerasi, Adsorpsi dan Filtrasi .....	65
a.	Aerasi .....	65
b.	Zeolit Sebagai Adsorben .....	68
c.	Pasir Silika Sebagai Media Filtrasi .....	72
4.2	Titik Jenuh Zeolit .....	73
4.3	Efisiensi Penurunan Konsentrasi BOD dan Fenol pada Reaktor aerokarbonfilterTotal Reaktor Aerokarbonfilter.....	75
4.4	Analisa Statistika .....	77
4.4.1	Uji Anova BOD .....	77
4.4.2	Uji Anova Fenol .....	77
<b>Bab V Kesimpulan dan Saran .....</b>		<b>78</b>
5.1	Keimpulan .....	78
5.2	Saran-saran .....	79
<b>Bab VI Daftar Pustaka .....</b>		<b>80</b>
<b>Lampiran-lampiran</b>		

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram pengelolaan air limbah rumah sakit .....	16
Gambar 2.2 Struktur molekul Fenol .....	20
Gambar 2.3 Struktur molekul zeolit .....	40
Gambar 3.1 Reaktor Aerokarbonfilter .....	60
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian .....	61
Gambar 4.1 Konsentrasi BOD pada tiap-tiap media proses .....	63
Gambar 4.2 Konsentrasi Fenol pada tiap-tiap media proses .....	64
Gambar 4.3 Efisiensi Penurunan BOD dan Fenol pada variasi waktu .....	76

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik limbah cair rumah sakit .....	17
Tabel 3.1. Dimensi reaktor aerokarbonfilter .....	56
Tabel 4.1. Konsentrasi BOD pada tiap-tiap media proses .....	63
Tabel 4.2. Konsentrasi fenol pada tiap-tiap media proses .....	64
Tabel 4.3 Efisiensi BOD dan Fenol pada media zeolit .....	73
Tabel 4.4 Efisiensi penurunan BOD dan Fenol pada reaktor aerokarbonfilter .....	76

---

**“PENURUNAN KONSENTRASI BOD DAN FENOL PADA LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR AEROKARBONFILTER”**

**ABSTRAK**

Limbah cair rumah sakit merupakan salah satu limbah yang cukup berbahaya bagi lingkungan karena bersifat pencemar. Apabila tidak dilakukan pengolahan, limbah tersebut dapat menyebabkan gangguan terhadap manusia, tumbuhan dan hewan. Selama ini pengolahan limbah rumah sakit belum optimal, untuk itu perlu suatu teknologi untuk mengolah limbah tersebut sehingga limbah yang sudah diolah aman dibuang ke lingkungan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kemampuan reaktor aerokarbonfilter dalam menurunkan BOD dan fenol yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit dan mengetahui titik jenuh dari zeolit.

Pada kegiatan ini digunakan reaktor aerokarbonfilter dengan dimensi 30cm x 30 cm x 140 cm, selanjutnya air limbah dialirkan melalui tray aerasi, zeolit dan kemudian filtrasi. Sampling BOD dan fenol diambil setiap menit ke- 30 selama 120 menit pada masing masing outlet media proses.

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa penurunan optimal BOD pada proses aerasi terjadi pada menit ke-30, sebesar 30,69 % dan fenol terjadi pada menit ke-0, sebesar 72,15 %. Pada proses adsorpsi dengan zeolit penurunan optimal untuk BOD dan fenol terjadi pada menit ke-60 sebanyak 38,05 % dan 9,41%. Sedangkan pada proses filtrasi, penurunan BOD yang optimal terjadi pada menit ke-30, sebanyak 48,86 %, sedangkan fenol penurunan optimal terjadi pada menit ke-0 sebesar 63,62 %.Efisiensi keseluruhan penurunan BOD yang optimal pada reaktor terjadi pada menit ke- 120, sebesar 55,44 %, sementara penurunan fenol yang optimal terjadi pada menit ke- 0, sebesar 69,25 %. Titik jenuh zeolit terhadap penurunan BOD terjadi pada menit ke-60, sedangkan pada penurunan fenol belum terjadi hingga menit ke-120.

Kata kunci : Limbah rumah sakit, BOD, Fenol, Aerokarbonfilter, Aerasi, Adsorpsi, Filtrasi

**"REDUCING OF BOD AND PHENOL CONCENTRATION AT HOSPITAL WASTE  
WATER BY USING REACTOR AEROKARBONFILTER"**

**ABSTRACT**

*Hospital waste water is one of waste which dangerous enough for environment, because having the character as a pollutant. If it is not done by a processing, the waste water could be cause the trouble to human being, plant and animal. So far the processing of hospital waste water not optimal yet, for that need a technology for the treatment of the waste so that waste harmless to thrown to environment.*

*The aims of this Research are to know the ability of reactor aerocarbonfilter to reduce the substance BOD and Phenol concentration which implied in the hospital waste water and also to know the saturation point of zeolite.*

*At this activity is used by reactor aerocarbonfilter with dimension 30cm x30 cm x 140 cm, and then waste water will pass through tray aeration, zeolite and then filtration. Sampling of BOD and phenol taken every 30 th minute during 120 minute at each outlet of media process.*

*From result of the experiment show that optimal reducing of BOD at aeration process is happened at 30th minute, as much 30,69% and for phenol its happened at zero minute as much 72,15 %. At adsorption process by zeolite, the optimal reducing of BOD and phenol is happened at 60th minute, each much 38,05 % and 9,41. While at filtration process, the optimal reducing BOD is happened at 30th minute, mean while for phenol, optimal removal is happened at zero minute as much 63,62 %. Overall efficiency of optimal reducing BOD at reactor is happened on 120th minute as much 55.44 % , mean while optimal reducing of phenol is happened at zero minute as much 69,25 %. Saturation point of zeolite to reduce BOD is happened at 60th minute, mean while for phenol not yet been happened till 120th minute.*

*Key words : Hospital waste water, BOD, Phenol, Aerocarbonfilter, Aeration, Adsorption, Filtration.*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Limbah merupakan salah satu penyebab penurunan kualitas lingkungan. Limbah merupakan produk sampingan dari suatu kegiatan yang dilakukan oleh manusia. Pada umumnya limbah akan dapat mengganggu keadaan lingkungan sekitar baik itu berupa gangguan estetika lingkungan, bau maupun gangguan terhadap kesehatan manusia sebagai akibat sekunder dari keberadaan limbah tersebut. Limbah dapat berupa dalam bentuk cair, padatan, gas dan lain sebagainya.

Perkembangan teknologi dan industri merupakan tuntutan zaman yang harus dipenuhi mengingat makin meningkatnya keinginan manusia untuk mendapatkan kenyamanan hidup yang lebih baik. Meningkatnya tingkat kebutuhan tersebut tentunya akan dibarengi juga dengan makin meningkatnya produksi limbah akibat dari makin kompleksnya kegiatan yang dilakukan oleh manusia. Perkembangan pertumbuhan penduduk juga akan mempengaruhi tingkat produksi limbah, hal ini dikarenakan kebutuhan yang harus dipenuhi dalam menunjang kehidupan mereka sehari-hari dalam menjalankan aktifitasnya.

Meningkatnya permintaan akan kehidupan yang layak dapat dilakukan dengan cara menyediakan pelayanan kesehatan yang baik. Sebagaimana yang tertuang dalam undang-undang No.9 tahun 1990 tentang Pokok-Pokok Kesehatan, bahwa setiap warga negara berhak memperoleh derajat kesehatan yang setinggi-tingginya. Undang-

undang tersebut merupakan landasan dasar bagi pemerintah untuk menyediakan pelayanan kesehatan yang baik dengan itu berupa kegiatan penanggulangan pencemaran, pemulihan kesehatan, peningkatan kesehatan masyarakat, maupun pencegahan dan pemberantasan penyakit. Dan rumah sakit merupakan salah satu bentuk konkrit penyediaan dalam penyediaan sarana pelayanan kesehatan.

Rumah sakit adalah sarana upaya kesehatan yang menyelenggarakan upaya pelayanan kesehatan yang meliputi pelayanan rawat jalan, rawat nginap, pelayanan gawat darurat, pelayanan medik dan non medik yang dalam melakukan proses kegiatan hasilnya dapat mempengaruhi lingkungan sosial, budaya dan dalam menyelenggarakan upaya dimaksud dapat mempergunakan teknologi yang diperkirakan mempunyai potensi besar terhadap lingkungan

Kegiatan rumah sakit seperti yang diatas akan menimbulkan limbah yang berupa dalam bentuk cair, padat dan gas. Limbah rumah sakit pada umumnya menghasilkan limbah yang mengandung bakteri, virus, senyawa kimia dan obat-obatan yang dapat membahayakan lingkungan sekitarnya bila tidak ditangani dengan baik.

Limbah yang dihasilkan rumah sakit dapat membahayakan kesehatan masyarakat. Limbah cair dan limbah padat yang berasal dari dari kegiatan medik rumah sakit dapat berfungsi sebagai media penyebaran gangguan atau penyakit bagi para petugas rumah sakit, penderita maupun masyarakat. Mengingat selama ini pengolahan limbah rumah sakit belum secara optimal bahkan bukan menjadi prioritas utama mereka maka diperlukan suatu teknologi pengolahan untuk mengatasi permasalahan diatas. Sangat ironis bila rumah sakit yang notabene sebagai tempat



penyembuhan penyakit justru menjadi sumber penyakit akibat kelalaian dalam pengolahan limbah.

Teknologi pengolahan limbah medis pada umumnya berupa tangki septik dan insenerator. Teknologi ini pada umumnya mempunyai permasalahan yang tidak kalah bahayanya. Sebagai contoh tangki septik sekarang banyak dipersoalkan karena rembesan cairan yang keluar dari tangki tersebut sedangkan insenerator untuk pembakaran menghasilkan emisi gas buang yang dapat mencemari udara. Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat menemukan teknik insenerator merupakan sumber utama zat dioksin yang sangat beracun. Penelitian terakhir menunjukkan zat dioksin inilah yang menjadi pemicu tumbuhnya kanker pada tubuh. Dari permasalahan di atas perlu penyediaan teknologi untuk mengatasi limbah yang dihasilkan oleh rumah sakit terutama limbah cair. Pada penelitian ini teknologi yang coba diangkat oleh penulis adalah *Aerokarbonfilter*. Teknologi ini mengkombinasikan antara aerasi, zeolit sebagai adsorben dan *sand filter* sebagai penyaring. Dengan teknologi ini diharapkan ada penurunan dari konsentrasi limbah cair rumah sakit terutama kadar BOD dan Fenol.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Menurut latar belakang yang ada diatas, maka dalam penelitian ini ditarik beberapa rumusan masalah, antara lain :

- a) Apakah reaktor (aerasi, zeolit, dan filter) dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi BOD dan Fenol pada limbah cair rumah sakit.
- b) Seberapa besar efisiensi penurunan konsentrasi BOD dan Fenol pada limbah cair rumah sakit dengan menggunakan reaktor Aerokarbonfilter.
- c) Seberapa lama zeolit dapat menurunkan konsentrasi BOD dan Fenol limbah cair rumah sakit hingga mencapai titik jenuh.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan adalah:

- a) Untuk mengetahui penurunan konsentrasi BOD dan Fenol pada limbah cair rumah sakit dengan menggunakan reaktor Aerokarbonfilter
- b) Untuk mengetahui besarnya efisiensi penurunan konsentrasi BOD dan Fenol pada limbah cair rumah sakit
- c) Untuk mengetahui titik jenuh dari zeolit dalam menurunkan konsentrasi BOD dan Fenol pada limbah cair rumah sakit

#### **1.4 Batasan Masalah**

Sesuai dengan tujuan penelitian, agar penelitian ini lebih mudah perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Reaktor yang digunakan adalah reaktor yang susunannya terdiri atas aerasi, zeolit, dan filter pasir.
- b. Adsorben yang digunakan adalah zeolit dan dipakai sampai mencapai titik jenuh.
- c. Bahan baku berasal dari limbah cair yang berasal dari campuran limbah Lab dan bangsal yang tertampung pada bak penampung sementara, Rumah Sakit PKU Muhammadiyah Yogyakarta.
- d. Parameter yang diukur adalah: BOD dan Fenol.
- e. Waktu pengambilan sample adalah interval 30 menit selama 2 jam
- f. Penelitian dilakukan dengan menggunakan skala laboratorium.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

- a. Dapat memberikan alternative teknologi baru yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair rumah sakit terutama dalam penurunan konsentrasi BOD dan Fenol.
- b. Sebagai inspirasi awal, apakah penelitian ini bisa diterapkan di lapangan
- c. Salah satu bentuk konkrit peneliti dalam upaya menjaga lingkungan.

## **1.6 Sistematika Penulisan Laporan Penelitian**

Sistematika penulisan Tugas Akhir secara garis besar adalah sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini merupakan pengantar permasalahan yang dibahas, seperti latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, identifikasi masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini merupakan penjelasan mengenai teori – teori yang dipergunakan sebagai landasan untuk pemecahan permasalahan.

### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisikan mengenai metode – metode yang digunakan oleh peneliti dalam melakukan penelitian, mulai dari pengumpulan data

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Bab ini berisikan data – data hasil sampling, hasil pengolahan data dengan berbagai metode perhitungan yang diperoleh dari analisa laboratorium.

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan bagian terakhir yang berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang dianjurkan untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Rumah Sakit**

Rumah sakit adalah sarana upaya kesehatan yang menyelenggarakan upaya pelayanan kesehatan yang meliputi pelayanan rawat jalan, rawat nginap, pelayanan gawat darurat, pelayanan medik dan non medik yang dalam melakukan proses kegiatan hasilnya dapat mempengaruhi lingkungan sosial, budaya dan dalam penyelenggaraan upaya dimaksud dapat mempergunakan teknologi yang diperkirakan mempunyai potensi besar terhadap lingkungan. Kegiatan-kegiatan tersebut akan menimbulkan dampak positif dan dampak negative. Dampak positif adalah meningkatnya derajat kesehatan masyarakat, sedangkan dampak negatifnya antara lain adalah sampah dan limbah medis maupun non medis yang dapat menimbulkan penyakit dan pencemaran yang perlu perhatian khusus. Oleh karena itu perlu adanya upaya penyehatan lingkungan rumah sakit yang bertujuan untuk melindungi masyarakat dan karyawan akan bahaya pencemaran lingkungan yang bersumber dari sampah maupun limbah rumah sakit.

Departemen Kesehatan tahun 1997 mengungkapkan bahwa rumah sakit di seluruh tahanan air berjumlah 1090 dengan 121.996 tempat tidur. Hasil kajian terhadap 100 Rumah Sakit di Jawa dan Bali menunjukkan rata-rata produksi sampah sebesar 3.2 kg per tempat tidur per hari sedangkan produksi limbah cair sebesar 416.8 liter per tempat tidur per hari. Diperkirakan secara nasional produksi sampah (limbah padat)

rumah sakit sebesar 367.089 ton per hari dan produksi air limbah sebesar 48.985,70 ton per hari (sumber: [www.pdii.lipi.gi.id](http://www.pdii.lipi.gi.id)). Dari hasil kajian dan penelitian diatas rumah sakit sangat berpotensi besar dalam mencemari lingkungan dan kemungkinan menimbulkan kecelakaan dan penularan penyakit.

Kegiatan rumah sakit menghasilkan berbagai macam limbah yang berupa cair, padat dan gas. Pengelolaan limbah rumah sakit adalah bagian dari kegiatan penyehatan lingkungan rumah di rumah sakit. Unsur –unsur yang terkait dengan penyelenggaraan kegiatan rumah sakit (termasuk pengolahan limbahnya) yaitu :

- Pengguna jasa pelayanan rumah sakit
- Para ahli, pakar dan lembaga yang dapat memberikan saran-saran.
- Pemrakarsa atau penanggung jawab rumah sakit
- Para pengusaha dan swasta yang dapat menyediakan sarana dan fasilitas yang diperlukan

## **2.2 Karakteristik Limbah Rumah Sakit**

Sampah dan limbah rumah sakit adalah semua sampah dan limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dan penunjang lainnya. Sampah dan limbah rumah sakit dapat dikategorikan dalam jenis sampah dan limbah yang kompleks dibandingkan dengan limbah dari instalasi lain.

Jenis-jenis limbah rumah sakit meliputi bagian sebagai berikut :

a. Limbah klinik,

Merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pelayanan pasien secara rutin, pembedahan dan di unit-unit resiko tinggi. Limbah ini mungkin berbahaya dan mengakibatkan resiko tinggi infeksi kuman dan populasi umum dan staff rumah sakit. Contoh jenis limbah ini antara lain perban atau pembungkus yang kotor, cairan badan, anggota badan yang teramputasi, jarum-jarum dan semprit bekas, kantong urin dan darah.

b. Limbah Potologi

Sama seperti jenis limbah yang di atas, limbah jenis ini juga dianggap beresiko tinggi terhadap lingkungan sekitarnya dan sebaiknya diotoklaf sebelum keluar dari unit patologi. Limbah tersebut harus diberi label *biohazard*.

c. Limbah Bukan Klinik

Yang termasuk limbah jenis ini antara lain kertas-kertas pembungkus atau kantong dan plastik yang tidak berkontak dengan cairan badan. Limbah ini tidak menimbulkan resiko sakit, namun limbah ini cukup merepotkan karena memerlukan tempat yang besar untuk mengangkut dan membuangnya.

d. Limbah Dapur

Limbah ini mencakup sisa-sisa makanan dan air kotor, berbagai serangga seperti kecoa, kutu, dan hewan mengerat seperti tikus merupakan gangguan bagi staff maupun pasien rumah sakit.

e. Limbah radioaktif

Limbah jenis ini memerlukan penanganan yang baik kendati limbah ini tidak menimbulkan persoalan pengendalian infeksi di rumah sakit.

Limbah klinis adalah limbah yang berasal dari pelayan medis, perawatan gigi, verinari, farmasi atau sejenis, pengobatan, perawatan, penelitian atau pendidikan yang menggunakan bahan-bahan beracun, infeksius berbahaya atau bisa membahayakan kecuali jika dilakukan pengamanan tertentu. Limbah klinis berdasarkan potensi yang terkandung di dalamnya dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Limbah benda tajam

Limbah benda tajam adalah obyek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi, ujung atau bagian menonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit seperti jarum hipodermik, perelengkapan intravena, pipet pasteur, pecahan gelas, pisau bedah. Semua benda tajam ini memiliki bahaya potensi dan dapat menyebabkan cedera melalui luka sobekan atau tusukan.

2. Limbah Infeksius

Limbah ini mencakup pengertian sebagai berikut :

- a. Limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular (perawatan intensif)
- b. Limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik dan ruang perawatan/isolasi penyakit menular.



### 3. Limbah jaringan tubuh

Limbah jaringan tubuh meliputi, organ badan, darah dan cairan tubuh, biasanya dihasilkan pada saat pembedahan atau otopsi.

### 4. Limbah sitotoksik

Limbah sitotoksik adalah bahan yang terkontaminasi atau mungkin terkontaminasi dengan obat sitotoksik selama peracikan, pengangkutan atau tindakan terapi sitotoksik.

### 5. Limbah farmasi

Limbah ini berupa yang berasal dari obat-obat kadaluarsa, obat-obat yang terbuang akibat tidak lolos spesifikasi atau kemasan yang terkontaminasi, obat-obat yang dibuang oleh pasien atau masyarakat dan limbah yang dihasilkan selama proses produksi obat-obatan.

### 6. Limbah kimia

Limbah kimia adalah limbah yang dihasilkan dari penggunaan bahan kimia dalam tindakan medis, laboratorium, proses sterilisasi, dan riset

### 7. Limbah radioaktif

Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radio isotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radio nukleida.

### **2.3 Pengaruh Limbah Rumah Sakit Terhadap Lingkungan**

Pengaruh limbah rumah sakit terhadap kualitas lingkungan dan kesehatan dapat menimbulkan berbagai masalah antara lain :

a) **Gangguan terhadap kenyamanan dan estetika lingkungan**

Keberadaan limbah akan dapat menurunkan tingkat kenyamanan hidup dan nilai estetika lingkungan bila tidak tertangani dengan baik, contoh gangguan ini berupa bau fenol, eutrofikasi, rasa dari bahan kimia organik, warna yang berasal dari sedimentasi, air yang berlumpur dan sebagainya.

b) **Gangguan atau kerusakan tanaman dan binatang**

Kandungan limbah rumah sakit yang kompleks sedikit banyak akan mengganggu kehidupan tanaman maupun binatang seperti virus, senyawa nitrat, bahan kimia, pestisida, logam nutrien tertentu dan fosfor.

c) **Gangguan terhadap kesehatan manusia**

Dapat disebabkan karena berbagai bakteri, virus, senyawa-senyawa kimia, pestisida, serta logam seperti Hg, Pb, dan Cd yang berasal dari bagian kedokteran gigi.

d) **Gangguan genetik dan reproduksi**

Beberapa senyawa dapat menyebabkan kerusakan genetik maupun gangguan terhadap kandungan seperti pestisida, bahan radioaktif.

## 2.4 Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit

Limbah cair rumah sakit mengandung bermacam-macam mikroorganisme, bahan-bahan organik dan anorganik. Berikut ini beberapa contoh fasilitas Unit Pengolah Limbah yang umum di pakai di rumah sakit antara lain sebagai berikut :

- Anaerobic Filter Treatment System
- Proses anaerobic filter treatment biasanya akan menghasilkan effluent yang mengandung zat-zat asam organik dan senyawa anorganik yang memerlukan klor lebih banyak untuk proses oksidasinya. Sistem Anaerobic Treatment terdiri dari komponen-komponen antara lain :
  - Pump Swap (pompa air kotor)
  - Septic Tank (inhalation tank)
  - Anaerobic filter
  - Stabilization tank (bak stabilisasi)
  - Chlorination tank (bak klorinasi)
  - Sludge drying bed (tempat pengeringan lumpur)
  - Control room (ruang kontrol)
- Kolam Stabilisasi Limbah (Waste Stabilization Pond System)

Sistem pengelolaan ini cukup efektif dan efisien kecuali masalah lahan, karena kolam stabilisasi memerlukan lahan yang cukup luas; maka biasanya dianjurkan untuk rumah sakit di luar kota (pedalaman) yang biasanya masih mempunyai lahan yang cukup. Sistem ini terdiri dari bagian-bagian yang cukup sederhana

yakni :

- Pump Swap (pompa air kotor).
  - Stabilization Pond (kolam stabilisasi) 2 buah.
  - Bak Klorinasi
  - Control room (ruang kontrol)
  - Inlet
  - Incinerator antara 2 kolam stabilisasi
  - Outlet dari kolam stabilisasi menuju sistem klorinasi.
- Kolam oksidasi air limbah (*Waste Oxidation Ditch Treatment System*)

Sistem ini cocok untuk diterapkan untuk pengolahan limbah rumah sakit di kota, karena tidak memerlukan lahan yang luas.

Sistem kolam oksidasi ini terdiri dari :

- Pump Swap (pompa air kotor)
- Oxidation Ditch (pompa air kotor)
- Control Room (ruang kontrol)
- Chlorination Tank (bak klorinasi)
- Sludge Drying Bed
- Sedimentation Tank (bak pengendapan)

Untuk mengolah air yang mengandung senyawa organik umumnya menggunakan teknologi pengolahan air limbah secara biologis atau gabungan antara proses biologis dengan proses kimia-fisika. Proses secara biologis tersebut dapat dilakukan pada kondisi aerobik (dengan udara), kondisi anaerobik (tanpa udara) atau

kombinasi anaerobik dan aerobik. Proses biologis aerobik biasanya digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang tidak terlalu besar, sedangkan proses biologis anaerobik digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban BOD yang sangat tinggi.

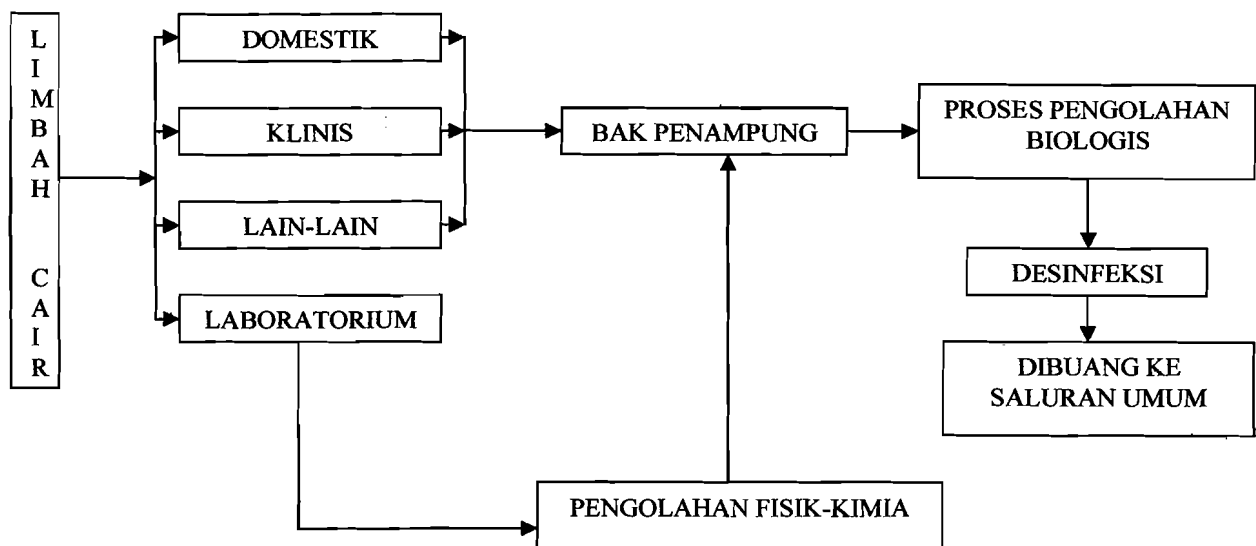
Pengolahan air limbah secara biologis aerobik secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yakni proses biologis dengan biakan tersuspensi (*suspended culture*), proses biologis dengan biakan melekat (*attached culture*) dan proses pengolahan dengan sistem lagoon atau kolam. Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktifitas mikro-organisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air dan mikro-organisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reaktor. Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : proses lumpur aktif standar/konvensional (*standard activated sludge*), *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya.

Proses biologis dengan biakan melekat yakni proses pengolahan limbah dimana mikro-organisme yang digunakan dibiakkan pada suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Beberapa contoh teknologi pengolahan air limbah dengan cara ini antara lain : *trickling filter* atau *biofilter*, *rotating biological contactor* (RBC), *contact aeration/oxidation* (aerasi kontak) dan lainnya. Proses pengolahan air limbah secara biologis dengan lagoon atau kolam adalah dengan menampung air limbah pada suatu kolam yang luas dengan waktu

tinggal yang cukup lama sehingga dengan aktifitas mikro-organisme yang tumbuh secara alami, senyawa polutan yang ada dalam air akan terurai.

Untuk mempercepat proses penguraian senyawa polutan atau memperpendek waktu tinggal dapat juga dilakukan proses aerasi. Salah satu contoh proses pengolahan air limbah dengan cara ini adalah kolam aerasi atau kolam stabilisasi (*stabilization pond*). Proses dengan sistem lagoon tersebut kadang-kadang dikategorikan sebagai proses biologis dengan biakan tersuspensi.

Berikut adalah diagram alir proses pengolahan limbah rumah sakit :



Gambar 2.1 :Diagram pengelolaan air limbah rumah sakit

(Sumber : BPPT, 1999)

Beberapa tolak ukur pencemaran air oleh rumah sakit pada adalah warna, fenol, pH, COD, BOD, zat organik dan logam – logam berat (Fe, Cu, Zn, Cd, Pb). (Anonim, 1978).

Tabel 2.1 Karakteristik limbah cair rumah sakit

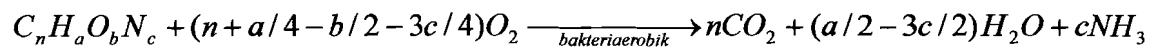
No	Parameter	Satuan	Nilai	Baku Mutu
1.	pH	-	5.8	6 – 9
2.	BOD	Mg/L	1260	30 – 300
3.	COD	Mg/L	3039.7	60 – 600
4.	TSS	Mg/L	855	100 – 400
5.	Minyak / Lemak	Mg/L	60.0	1.0 – 20.0
6.	Phenol	Mg/L	0.926	0.1 – 2.0
7.	Warna	PtCo	185	50
8.	Nitrat	Mg/L	8.25	0.06 – 5.0

(sumber : BPPT, 1999 )

## 2.5 Parameter Penelitian

### 2.5.1 BOD (Biological Oxygen Demand)

BOD (Biological Oxygen Demang), atau kebutuhan oksigen biologis, adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganime di dalam air untuk mengdegradasi bahan buangan organik yang terdapat dalam air tersebut. Proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme atau oleh bakteri aerobik adalah sebagai berikut :



Seperti tampak pada reaksi diatas, bahan buangan organik dipecah dan diuraikan menjadi gas CO<sub>2</sub>, air dan gas NH<sub>3</sub>. Timbulnya gas NH<sub>3</sub> inilah yang menyebabkan bau busuk pada air yang telah dicemari oleh bahan buangan organik.

Reaksi tersebut diatas memerlukan waktu yang cukup lama kira-kira 10 hari dalam waktu 2 hari mungkin reaksi telah mencapai 50% dan dalam waktu 5 hari mencapai sekitar 75% (Wisnu Arya W,2001). Bila dibandingkan dengan reaksi COD yang hanya memakan waktu sekitar 2 jam, maka reaksi uji BOD ini relative sangat lambat karena tergantung pada kerja bakteri.

Studi kinetika reaksi BOD memperlihatkan bahwa reaksi ini mengikuti orde pertama atau laju reaksi sebanding dengan jumlah organik teroksidasi yang tersisa pada waktu tertentu yang dilakukan oleh populasi dimana variasi yang terjadi relatif kecil, laju dikontrol oleh jumlah makanan yang tersedia untuk organisme dan diekspresikan sebagai berikut :

$$\frac{-dC}{dt} \propto C \text{ atau } \frac{-dC}{dt} = k' C \quad (\text{Pers. 2.1})$$

Dimana C : konsentrasi bahan organik awal teroksidasi pada waktu awal reaksi

T : lamanya reaksi berjalan

k' : kostanta laju reaksi

Persamaan diatas menunjukkan bahwa lajur reaksi secara perlahan berkurang jika konsentrasi bahan makanan atau bahan organik, C berkurang.



Dalam berbagai kasus, lebih diutamakan nilai BOD yang biasa ditentukan oleh aktual dengan pengukuran oksigen terlarut. Seringkali dinyatakan sebagai BOD 5 hari atau BOD pada waktu tertentu lainnya. Hal ini dinyatakan sebagai :

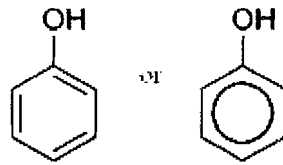
$$y = L(1 - 10^{-kt}) \quad (\text{Pers. 2.2})$$

Dengan  $y = \text{BOD}$  pada waktu  $t$ ,  $L = \text{BOD}$  total atau ultimat. Nilai  $k$  harus ditentukan berdasarkan percobaan.

### 2.5.2 Fenol

Fenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ) merupakan senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil terikat langsung pada atom karbon dalam cincin benzena. Fenol bersifat asam karena dapat melepaskan  $\text{H}^+$  sehingga kepolarannya cukup tinggi. Aktivitas alam, domestik dan industri dapat menghasilkan limbah cair yang mengandung fenol. Fenol dan turunannya merupakan polutan yang umum dalam industri kimia. Industri yang banyak menghasilkan limbah fenol adalah industri pulp dan kertas, industri kayu/kayu lapis, industri migas, industri plastik, industri tekstil, dan limbah rumah sakit (Fardiaz, 1992). Konsentrasi fenol rata-rata dalam limbah cair berbagai macam proses industri bervariasi antara 35 – 8000 mg/L.

Fenol merupakan salah satu dari persenyawaan aromatik yang tak berwarna yang paling penting. Fenol memiliki nama kimia lain yaitu ; *Carbolic Acid*, *Benzenol*, *Phenylic Acid*, dan *Hydroxybenzene*.



Gambar 2.2 : Struktur molekul Fenol

Fenol ( $C_6H_5OH$ ) adalah *monohydrosida derivate dabenzene* yang memiliki titik didih  $181.7\text{ }^\circ\text{C}$  dan titik lebur  $40.5\text{ }^\circ\text{C}$ . Kelatutan Fenol dalam air sebesar  $9.8\text{ g}/100\text{ mL}$  dengan densitas  $1.07\text{ g}/\text{cm}^3$ . Pada tahun 1800 ahli bedah berkebangsaan inggris Joseph Lister memperkenalkan pheno sebagai anti septik rumah sakit. Meskipun memiliki sifat antiseptic yang baik namun Fenol dapat juga menyebabkan kausit dan racun dan dapat merusak hati dan jantung. Fenol yang juga dikenal sebagai asam karbol ini dalam larutan konsentrasi tinggi (pekat) sangat beracun bagi bakteri. Fenol digunakan secara luas sebagai *germecida* dan desinfekta. Fenol terjadi sebagai satu komponen alamiah dalam buangan industri dari industri gas batu bara, pokas batu bara dan industri minyak tanah.

Riset yang dilakukan di Dw Chemical Co.Plant midlang, Michigan dan tempat lain menunjukkan bahwa Fenol akan berfungsi sebagai makanan bakteri tanpa efek toksis yang serius pada tingkat konsentrasi  $500\text{ mg}/\text{L}$ . Pada sesuatu konsentrasi maksimal tertentu, bakteri akan menggunakan Fenol sebagai makanan, tetapi bakteri akan mendapatkan sebagai suatu bahan yang terlalu toksik untuk digunakan sebagai makanan dan reproduksi organisme tersebut. Fenol akan menimbulkan bau apabila bereaksi dengan chlor.

Fenol mudah masuk lewat kulit sehat, keracunan akut akan menyebabkan gejala gastrol intestinal, sakit perut, kelainan koordinasi bibir, mulut dan tenggorokan. keracunan kronis menimbulkan gejala gastro intestinal, sulit menelan, hipersalivasi, kerusakan ginjal dan hati dan dapat menyebabkan kematian.

## **2.6 Reaktor Aerokarbonfilter**

Rektor yang dipergunakan dalam penelitian ini menggunakan beberapa prinsip dari beberapa unit pengolahan, yaitu aerasi, zeolit, dan filtrasi yang digabung menjadi satu kesatuan. Dengan kombinasi beberapa unit pengolahan ini diharapkan dapat menurunkan konsentrasi limbah khususnya BOD dan Fenol.

### **2.6.1 Aerasi**

Aerasi adalah fenomena dimana terjadi pertukaran molekul-molekul gas di udara dengan cairan pada gas-liquid interface. Pertukaran tersebut menyebabkan konsentrasi molekul gas di dalam cairan mencapai titik jenuh. Karena pertukaran gas hanya terjadi pada permukaan (interface), maka proses tersebut harus dilakukan dengan kontak sebanyak-banyaknya antara ke dua permukaan tersebut. Atau dengan kata lain aerasi adalah proses pengolahan air dengan mengontakkannya dengan udara. Aerasi sering digunakan untuk transfer oksigen untuk proses pengolahan biologi, stripping dalam mengatasi limbah cair, dan untuk menghilangkan gas-gas volatile seperti  $H_2S$  dan  $NH_3$ .

Laju difusi dari gas terlarut dalam liquid adalah tergantung dari karakteristik dari gas dan liquid, temperatur, konsentrasi gradient, dan luas permukaan difusi.

### 2.6.1.1 Kejenuhan Oksigen

Konsentrasi jenuh oksigen dalam air tergantung pada derajat salinitas air, suhu, dan tekanan parsial yang berkontak dengan air. Eckenfender dan O'Connor dalam Benefield dan Randal (1998) menyarankan bahwa konsentrasi jenuh dapat ditentukan dari persamaan berikut :

$$(C_s)_{760} = \frac{475 - 2.65S}{33.5 + T} \quad (\text{Pers.2.3})$$

Dimana :  $(C_s)_{760}$  = nilai kejenuhan oksigen pada tekanan udara 760 mmHg, mg/L

S = konsentrasi padatan terlarut dalam air, gram/l

T = suhu, °C

Perbedaan antara nilai penjenuhan dan konsentrasi aktual memberikan kekuatan dorong untuk pertukaran gas-gas dari sifat gas menjadi sifat terlarut dan demikian pula sebaliknya. Tingkat pertukaran secara langsung seimbang dengan perbedaan antara konsentrasi aktual dan nilai penjenuhan.

Tingkat pemindahan gas untuk seluruh interface atau bidang pemisah zat cair-gas pada umumnya dinyatakan dalam persamaan integrasi sebagai berikut :

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C_o) \quad (\text{Pers.2.4})$$

Dimana :

$\frac{dC}{dt}$  = Tingkat perubahan pada konsentrasi (mg/L-s)

$K_L a$  = Keseluruhan koefisien pemindahan masa (/s)

- $C_s$  = Konsentrasi penjuhan (mg/L)  
 $C$  = Konsentrasi pada setiap waktu  
 $C_0$  = Konsentrasi pada awal pada  $t = 0$  (mg/L)

Koefisien transfer gas ( $K_{La}$ ) adalah nilai variabel yang bergantung pada hubungan yang kompleks, termasuk temperatur, area melalui gas yang dipencar, volume zat air yang bersentuhan, dan koefisien pemencaran gas. Nilai  $K_{La}$  bergantung pada temperatur, yaitu nilai  $K_{La}$  akan meningkat jika suhu dinaikan. Nilai  $K_{La}$  yang besar akan memberikan efisiensi yang lebih baik serta nilai oksigen terlarut pun besar. Selain itu, nilai  $K_{La}$  dipengaruhi oleh kekeruhan air.

Aplikasi yang paling penting dalam pengolahan limbah cair adalah transfer oksigen kedalam proses pengolahan biologi dan reaerasi secara alami dari sungai. Kelarutan gas, tidak seperti kelarutan zat padat dalam air, pada tekanan parsial sampai 1 atm, konsentrasi keseimbangan gas dalam larutan pada suhu tertentu sebanding dengan tekanan parsial gas dalam air, hukum Henry menyatakan :

$$C_s = H \cdot \bar{P} \quad (\text{Pers 2.5})$$

Dimana  $C_s$  = konsentrasi jenuh atau keseimbangan gas dalam larutan, mg/L

$\bar{P}$  = tekanan parsial phase gas dalam air, atm

H = koefisien kelarutan Henry

Hukum Henry sering digunakan pada teknik pengolahan air dan air limbah seperti oksigen, metana, karbondioksida, dan hidrogen sulfida.

Kelarutan molekul gas ke dalam cairan tergantung pada :

- Sifat gas yang bersangkutan
- Temperatur
- Konsentrasi gas pada fase gas, dimana tergantung pada tekanan relatif "p" pada fase gas
- Impurities

Aerasi bertujuan untuk :

- Untuk mengurangi konsentrasi bahan penyebab rasa, dan bau seperti hidrogen sulfida dan beberapa senyawa organik
- Untuk melarutkan gas (oksigen) ke dalam air sehingga terjadi penambahan jumlah oksigen dalam air
- Penurunan jumlah karbondioksida (CO<sub>2</sub>).

Pengambilan zat pencemar yang terkandung di dalam air merupakan tujuan pengolahan air. Penambahan oksigen adalah salah satu usaha dari pengambilan zat pencemar tersebut, sehingga konsentrasi zat pencemar akan berkurang atau bahkan dapat dihilangkan sama sekali. Zat yang diambil dapat berupa gas, cairan, ion, koloid atau bahan tercampur.

#### **2.6.1.2 Jenis Aerasi**

- a) Memasukan udara ke dalam air

Adalah proses memasukkan udara atau oksigen murni kedalam air melalui benda porous atau *nozzle*. Apabila *nozzle* diletakkan di tengah-tengah, maka

akan meningkatkan kecepatan berkontaknya gelembung udara tersebut dengan air., sehingga proses pemberian oksigen akan berjalan lebih cepat. Oleh karena itu, biasanya *nozzle* adalah berasal dari udara luar yang dipompakan ke dalam air limbah oleh pompa tekan.

b) Memaksakan air ke atas untuk berkontak dengan oksigen

Adalah cara mengontakkan air dengan oksigen melalui pemutaran baling-baling yang diletakkan pada permukaan air. Akibat dari pemutaran ini, air akan terangkat ke atas dan dengan terangkatnya maka air akan mengadakan kontak langsung dengan udara sekitarnya. Pengalaman menunjukkan bahwa 43-123 m<sup>3</sup> udara diperlukan untuk menguraikan 1 kg BOD atau bila dalam pengolah air limbah dengan menggunakan aerator mekanis diperlukan 0,7-0,9 kg oksigen/jam untuk dimasukkan kedalam Lumpur aktif.

c) Multiple Tray aerator

Aerator ini perlengkapannya sangat sederhana dan persiapannya tidak mahal serta menempati ruang yang sangat sempit. Tipe ini terdiri dari 4-8 tray dengan lubang dibagian bawah pada interval 30-50 cm. Lubang air dibuat sama dengan tray yang di atasnya , dan aliran ke bawahnya rata-rata sekitar 0.02 m<sup>3</sup>/detik. Air diterjunkan dan dikumpulkan lagi pada tiap-tiap tray. Tary dapat dibuat dari beberapa bahan yang sesuai seperti papan asbes yang berlubang-lubang, pipa-pipa plastik dengan diameter kecil atau bilah-bilah kayu yang disusun paralel.

### 2.6.1.3 Tipe-tipe aerator :

#### 1. Gravity aerator:

- Cascade
- Incline plane
- Vertical stack

#### 2. Spray aerator

- Amsterdam nozzle
- Dresden nozzle
- Talford nozzle, dll

#### 3. Bubble aerator

#### 4. Mechanical aerator

Hal-hal yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan unit aerasi adalah :

1. Kecepatan gas transfer berbanding langsung dengan luas kontak per unit volume. Peralatan aerasi yang ideal akan memaksimumkan luas kontak. Misal untuk aerator cascade, terjunan yang lebih tinggi akan meningkatkan luas kontak. Untuk spray aerator, nozzle yang menghasilkan butiran yang lebih kecil memberikan luas kontak yang lebih besar.
2. Kecepatan transfer gas juga berbanding langsung dengan waktu kontak, sehingga unit aerator harus memperbesar waktu kontak.
3. Kecepatan transfer gas terhadap perbedaan antara konsentrasi jenuh dan konsentrasi awal dari gas ( $C_s - C_o$ ). Konsentrasi jenuh tergantung pada faktor-faktor yang telah disebutkan diatas.



### 2.6.2 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga pori-porinya terbuka, dan dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang akan membentuk amorf, yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta memiliki permukaan dalam (internal surface), sehingga mempunyai daya serap yang lebih baik. Keaktifan menyeras dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85% sampai 95% karbon bebas.

Karbon aktif berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu antara 300 sampai 2000 m per gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai permukaan dalam (internal surface) yang berongga, sehingga mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan.

Karbon aktif untuk semua tujuan, dan dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu bubuk dan granular. Karbon bentuk bubuk digunakan untuk adsorpsi dalam larutan. Misalnya untuk menghilangkan warna (*decolorisasi*), sedangkan karbon bentuk granular digunakan untuk absorpsi gas dan uap, dikenal pula sebagai karbon pengadsorpsi gas. Karbon bentuk granular kadang-kadang juga digunakan didalam media larutan khususnya untuk deklorinasi air dan untuk penghilang warna dalam larutan serta pemisahan komponen komponen dalam suatu sistem yang mengalir (Smisek, 1970).

Sifat dari karbon aktif yang dihasilkan tergantung dari bahan yang digunakan, misalnya, tempurung kelapa menghasilkan arang yang lunak dan cocok untuk menjernihkan air.

### 2.6.2.1 Struktur Karbon

Arang, kokas dan karbon aktif disebut amorf. Penyelidikan dengan sinar X menunjukkan bahwa karbon amorf mempunyai sifat kristal yang tidak tertentu, yang tidak menunjukkan sudut dan permukaan kristal seperti bentuk rombis, monoklin, dan lain-lain. Dari penyelidikan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa karbon amorf terdiri dari pelat-pelat datar dimana atom C (karbon) tersusun dalam sisi heksagon dan setiap atom karbon yang lainnya. Pelat-pelat ini bertumpuk satu sama lainnya membentuk kristal-kristal dengan sisa hidrokarbon yang tertinggal pada permukaannya. Dengan menghilangkan hidrokarbon pada permukaannya, permukaan akan menjadi lebih luas, sehingga daya serap akan menjadi lebih besar. Pada grafit, pelat-pelat ini lebih dekat satu sama lainnya dan terikat dengan cara tertentu, yang tidak dijumpai pada karbon kristal.

Struktur dasar karbon aktif dan karbon hitam diperkirakan menyerupai struktur grafit murni. Kristal grafit tersusun dari lapisan-lapisan heksagonal yang tersusun dari atom-atom karbon, yang terikat dengan gaya van der Waals yang lemah dan jarak antara lapisan-lapisan bidang tersebut adalah 3,35 Angstrom. Jarak ikatan antara atom-atom karbon dalam masing-masing lapisan adalah 1,415 Angstrom. Tiga dari keempat elektron karbon membentuk ikatan kovalen dengan atom yang

berdekatan, sedangkan elektron yang keempat beresonansi dengan beberapa struktur ikatan valensi. Struktur karbon aktif sedikit berbeda dari grafit.

Selama proses karbonisasi terbentuk dari beberapa inti aromatis yang mempunyai struktur yang sama dengan grafit. Dari data spektrograf sinar x, stuktur diinterpretasikan sebagai struktur mikrokristal yang tersusun dari gabungan cincin-cincin heksagonal dari atom-atom karbon. Adanya pengotor pada saat pembuatan ini mempengaruhi pembentukan senyawa-senyawa didalam mikro kristal. Garten dan Weiss (1983) menyatakan bahwa struktur cincin pada ujung-ujung bidang sering kali merupakan gugus heterosiklis yang berasal baik dari bahan baku maupun dari proses pembuatannya. Gugus-gugus heterosiklis akan cenderung mempengaruhi jarak dari bidang sekitarnya dan sifat adsorpsi karbon.

Susunan teratur dari ikatan-ikatan karbon pada permukaan kristal dirusak selama proses aktivasi, menghasilkan valensi bebas yang sangat reaktif. Perkembangan struktur yang dihasilkan adalah fungsi dari temperatur karbonisasi dan struktur aktivasi.

Struktur pori suatu adsorben dapat dibagi menjadi tiga kelas utama yaitu, macropori, transisional pori dan mikropori. Dua tingkat oksidasi terjadi selama proses aktivasi dengan gas pengoksidasi pada temperatur tinggi. Pertama, makropori terbentuk karena terbakarnya gugus ujung mikrokristal. Kedua, mikropori terbentuk terutama karena terbakarnya bidang mikrokristal.

Pori yang mempunyai radius efektif lebih besar dari 50-100 nm dikelompokan oleh Dubinin sebagai mikropori. Pada karbon aktif, radius efektif mikro porinya berkisar 500-2000 nm, volumenya antara 1,2 – 0,8 ml/gram. Harga luas permukaan

yang kecil atau dapat diabaikan, menunjukkan bahwa mikropori karbon aktif tidak cukup berperan dalam adsorpsi kecuali untuk senyawa-senyawa organik yang mempunyai ukuran molekul yang besar.

Transisional pori menurut Dunin mempunyai ukuran antara 100-200 nm dan 1,6 nm. Adsorpsi monomolekuler terjadi pada permukaan dalam pori ini. Biasanya karbon aktif mempunyai volume transisional pori relatif kecil dan berkisar antara 20-70 ml/gram. Untuk karbon aktif dengan porositas transisional pori dapat mencapai 7 ml/gram dan luas permukaan spesifiknya dapat mencapai 450 m/gram. Radius efektifnya biasanya 4-20 nm.

Radius efektif mikropori lebih kecil dari pada 1,82 nm, berkaitan dengan ukuran molekul. Untuk karbon aktif, volume mikroporinya kira-kira 0,15-0,5 ml/gram dan luas spesifiknya minimal 95% dari luas permukaan seluruhnya.

#### **2.6.2.2 Sifat Karbon Aktif**

Sifat adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur porinya, tetapi ditentukan juga oleh komposisi kimianya. Misalnya ketidakteraturan struktur mikrokristal elementer, karena adanya lapisan karbon yang terbakar tidak sempurna (terbakar sebagian), akan mengubah susunan elektron dalam rangka karbon. Akibatnya akan terjadi elektron tak berpasangan, keadaan ini akan mempengaruhi sifat adsorpsi karbon aktif, terutama senyawa polar atau yang dapat terpolarisasi. Jenis ketidakteraturan yang lain adalah adanya hetero atom didalam struktur karbon.

Karbon aktif mengandung elemen-elemen yang terikat secara kimia, seperti oksigen dan hidrogen. Elemen-elemen ini dapat berasal dari bahan baku yang

tertinggal akibat tidak sempurnanya proses karbonisasi, atau pula dapat terikat secara kimia pada proses aktivasi. Demikian pula adanya kandungan abu yang bukan bagian organik dari produk. Untuk tiap-tiap jenis karbon aktif kandungan abu dan komposisinya ada bermacam-macam. Adsorpsi elektrolit dan non elektrolit dari larutan dari karbon aktif, juga dipengaruhi oleh adanya sejumlah kecil abu. Adanya oksigen dan hidrogen mempunyai pengaruh besar pada sifat-sifat karbon aktif. Elemen-elemen ini berkombinasi dengan atom-atom karbon membentuk gugus-gugus fungsional tertentu. Gugus yang biasanya terdapat pada permukaan atom adalah : (1) gugus karboksilat, (2) gugus hidroksi fenol, (3) gugus kuinon tipe karbonil (4) normal lakton, (5) lakton tipe fluoresein, (6) asam karboksilat anhidrit dan peroksida siklis.

#### **2.6.2.3 Daya Serap Karbon Aktif**

Proses adsorpsi terjadi pada bagian permukaan antara padatan-padatan, padatan-cairan, cairan-cairan, atau cairan gas. Adsorpsi dengan bahan padat seperti karbon, tergantung pada luasan permukaannya.

Sifat daya serap karbon aktif terbagi atas dua jenis, yaitu daya serap fisika dan daya serap kimia. Keduanya dapat terjadi atau tidaknya perubahan kimia yang terjadi antara zat yang mengadsorpsi (adsorben). Beberapa teori yang menerangkan tentang gejala daya serap yang sebenarnya, belum cukup untuk mengemukakan tentang terjadinya daya serap pada karbon aktif.

Karbon aktif dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, tetapi mekanisme penyerapan senyawa tersebut belum semua diketahui dengan jelas. Mekanisme penyerapan yang telah diketahui antara lain penyerapan golongan fenol

dan aldehid aromatis maupun derivatnya. Senyawa fenol-aldehid maupun derivatnya terserap oleh karbon karena adanya peristiwa donor-akseptor elektron. Gugus karbonil pada permukaan karbon bertindak sebagai donor elektron. Karena ada peristiwa tersebut, maka inti benzena akan berikatan dengan gugus karbonil pada permukaan berikut :

- a. Dengan adanya pori-pori mikro antar partikuler yang sangat banyak jumlahnya pada karbon aktif, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap. Selain itu distribusi ukuran pori merupakan faktor penting dalam menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif. Misalnya, ukuran 20 angstrom dapat digunakan untuk menghilangkan campuran rasa dan bau, hanya lebih efektif untuk pembersihan gas, sedangkan untuk ukuran 20-100 angstrom efektif untuk menyerap warna.
- b. Pada kondisi yang bervariasi ternyata hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini dapat terjadi karena permukaan karbon dianggap heterogen, sehingga hanya beberapa jenis zat yang dapat diserap oleh bagian permukaan yang lebih aktif, yang disebut pusat aktif.

Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah sebagai berikut :

- a. Karakteristik fisika dan kimia adsorben, antara lain : luas permukaan ukuran pori, komposisi kimia
- b. Karakteristik fisis dan kimia adsorbat, antara lain : ukuran molekul, polaritas molekul komposisi kimia.
- c. Konsentrasi adsorbat dalam fase cair.
- d. Sistem waktu adsorpsi.

#### 2.6.2.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Pembuatan karbon aktif telah banyak diteliti, dan dalam pustaka telah didapat data yang cukup banyak. Diantaranya dituliskan bahwa karbonisasi untuk memperoleh karbon yang baik untuk diaktivasi harus dilakukan pada temperatur dibawah  $600^{\circ}\text{C}$ . Disamping itu ditemukan pula bahwa aktivasi arang dengan uap air sangat baik pada temperatur  $900-1000^{\circ}\text{C}$ , dan penambahan garam KCNS akan mempertinggi daya adsorpsi karbon aktif yang diperoleh.

Secara umum dalam pembuatan karbon aktif terdapat dua tingkatan proses yaitu :

1. Proses pengarangan (karbonisasi)

Proses ini merupakan proses pembentukan arang dari bahan baku. Secara umum, karbonisasi sempurna adalah pemanasan bahan baku tanpa adanya udara, sampai temperatur yang cukup tinggi untuk mengeringkan dan menguapkan senyawa dalam karbon. Hasil yang diperoleh biasanya kurang aktif dan hanya mempunyai luas permukaan beberapa meter persegi pergram. Selama proses karbonisasi dengan adanya dekomposisi pirolitik bahan baku, sebagian elemen-elemen bukan karbon, yaitu hidrogen dan oksigen dikeluarkan dalam bentuk gas dan atom-atom yang terbebaskan dari karbon elementer membentuk kristal yang tidak teratur, yang disebut sebagai kristal grafit elementer. Struktur kristalnya tidak teratur dan celah-celah kristal ditempati oleh zat dekomposisi tar. Senyawa ini menutupi pori-pori karbon, sehingga hasil proses karbonisasi hanya mempunyai kemampuan adsorpsi yang kecil. Oleh karena itu karbon aktif dapat juga dibuat dengan cara lain, yaitu dengan mengkarbonisasi bahan baku yang telah dicampur dengan garam

dehidrasi atau zat yang dapat mencegah terbentuknya tar, misalnya  $ZnCl_2$ ,  $MgCl_2$ , dan  $CaCl_2$ . Perbandingan garam dengan bahan baku adalah penting untuk menaikkan sifat-sifat tertentu dari karbon.

## 2. Proses aktivasi

Secara umum, aktivasi adalah mengubah karbon dengan daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi. Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, karbon diaktivasi, misalnya dengan menggunakan uap panas, gas karbondioksida dengan temperatur antara  $700-1100^{\circ}C$ , atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai aktivator (Smisek, 1970). Selain itu aktivasi juga berfungsi untuk mengusir tar yang melekat pada permukaan dan pori-pori karbon.

Aktivasi menaikkan luas permukaan dalam (internal area), menghasilkan volume yang besar, berasal dari kapiler-kepiler yang sangat kecil, dan mengubah permukaan dalam dari struktur pori.

Jadi karbon aktif dapat dibuat dengan dua metode aktivasi (Smisck, 1970), yaitu:

1. Aktivasi fisika, pada aktivasi ini digunakan gas pengaktif, misalnya uap air atau  $CO_2$ , yang dialirkan pada karbon hasil yang dibuat dengan metode karbonasi biasa. Pada saat ini senyawa-senyawa hasil ikutan akan hilang dan akhirnya akan memperluas hasil permukaan. Aktivasi ini dilakukan sampai derajat aktivasi cukup, yaitu sampai kehilangan berat berkisar antara 30-70%.



2. Aktivasi kimia, pada aktivasi ini bahan dikarbonisasi dengan tambahan zat pengaktif (aktivator) yang mempengaruhi jalannya pirolisis. Kemudian dicuci dengan air dan kemudian dikeringakan.

Biasanya proses aktivasi fisika merupakan awal dari proses aktivasi kimia.

Pembuatan karbon aktif akan melalui beberapa tahapan sebagai berikut: penghilangan air (dehidrasi), pemecahan bahan-bahan organik menjadi karbon, dan komposisi tar yang juga memperluas pori-pori.

Pada proses produktif karbon aktif, metode tersebut dapat dikembangkan untuk maksud tertentu.

#### **2.6.2.5 Penggunaan Karbon Aktif**

Karbon aktif dapat digunakan sebagai bahan pemucat, penyerap gas, penyerap logam, menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, detergen, bau, senyawa Fenol dan lain sebagainya. Pada saringan arang aktif ini terjadi proses adsorpsi, yaitu proses penyerapan zat-zat yang akan dihilangkan oleh permukaan arang aktif. Apabila seluruh permukaan arang aktif sudah jenuh, atau sudah tidak mampu lagi menyerap maka kualitas air yang di saring sudah tidak baik lagi, sehingga arang aktif harus di ganti dengan arang aktif yang baru.

#### **2.6.3 Zeolit**

Istilah Zeolit berasal dari kata *zein* dalam bahasa Yunani berarti membuih dan *lithos* yang berarti batu. Menurut wikipedia.com Zeolit adalah mineral yang

mempunyai struktur penyerap. Istilah ini diciptakan pertama kali oleh mineralogist dari Swiss. Nama ini sesuai dengan sifat Zeolit yang membuih bila dipanaskan pada suhu 100 °C.

Zeolit merupakan mineral alumino silikat yang terhidrasi dengan unsur utama terdiri dari kation alkali dan alkali tanah. senyawa ini memiliki struktur tiga dimensi dan memiliki pori-pori yang dapat diisi dengan air. Selain itu zeolit juga memiliki kemampuan untuk menyerap dan melepaskan komponen yang terkandung serta dapat menukar berbagai jenis kation tanpa merubah struktur utama penyusunnya. Terdapat lebih dari 150 tipe zeolit sintentis dan 48 dalam bentuk zeolit alam yang telah diketahui (wikipedia.com). Beberapa mineral zeolit antara lain : *anlcami*, *chabazite*, *heulandite*, *nartrolite*, *phillipsite*, dan *stilbite*. Sebagai contoh mineral dengan formula  $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , untuk mineral *natrolite*.

Zeolit merupakan batuan yang secara kimia termasuk bahan silikat yang dinyatakan sebagai aluminosilat terhidrasi, yang merupakan hasil produksi sekunder, baik dari hasil pelapukan ataupun sedimentasi. Batuan zeolit dengan struktur berongga sebagai suatu aluminosilat yang mempunyai struktur rongga dengan rongga-rongga di dalamnya terdapat ion-ion logam dan molekul-molekul air yang keduanya dapat bergerak sehingga dapat dipakai sebagai penukar ion dan dihidrasi secara reversible tanpa terjadi perubahan struktur (Barrers, 1978).

Berdasarkan pada proses pembentukannya, zeolit dapat dibedakan menjadi dua yaitu :

1. Zeolit alam

Merupakan zeolit yang berasal dari proses perubahan yang terjadi di alam atau merupakan hasil tambang dari batuan vulkanik. Zeolit ini banyak dijumpai

dalam lubang lava dan dalam batuan sedimen terutama sedimen piroklasik berbutir halus. Zeolit ini terbagi dalam 2 kelompok yaitu :

- zeolit yang terdapat diantara celah-celah batuan atau diantara lapisan batuan
- zeolit yang berupa batuan, jenis ini hanya sedikit diantaranya adalah: klinoptilonit, amalsit, erionit dsb.

## 2. Zeolit sintetis

Merupakan zeolit hasil sintetis rekayasa manusia secara proses kimia dan fisik. Sifat zeolit sintetis sangat tergantung dari jumlah komponen Al dan Si, sehingga ada 3 kelompok zeolit sintetis yaitu :

- zeolit sintetis dengan kadar Si rendah
- zeolit sintetis dengan kadar Si sedang
- zeolit sintetis dengan kadar Si tinggi

(Bambang Puerwadi,1998).

### 2.6.3.1 Sifat Zeolit

Zeolit mempunyai struktur berongga dan biasanya rongga ini diisi oleh air dan kation yang dapat dipertukarkan dan memiliki ukuran pori tertentu. Oleh sebab itu zeolit dapat dimanfaatkan sebagai : penyaring molekuler, penukar ion, penyerap bahan dan katalisator

Sifat zeolit berupa :

a. Zeolit sebagai penukar ion

Zeolit mempunyai kerangka kation dalam jaringan polimer yang bersifat mobil dan mudah dipertukarkan dengan kation lain, misalnya dalam proses pelunakan air sadah. Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini akan bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktivitas katalis. Zeolit sebagai molecular sieve mempunyai struktur kristalin prous sehingga mampu berfungsi sebagai penukar ion, karena perbedaan muatan Al(+3) dan Si(+4) menjadikan atom Al dalam kerangka kristal bermuatan negatif dan membutuhkan kation penetral.

b. Zeolit sebagai adsorben

Zeolit dapat digunakan sebagai adsorben karena merupakan polimer anorganik yang tersusun dari satuan berulang berupa tetrahedra  $\text{SiO}_4$  dan  $\text{AlO}_4$ . Zeolit mampu menyerap molekul lain yang mempunyai ukuran lebih kecil dari ukuran pori zeolit, misalnya Na-Mordinet mampu menyerap metil amina dari campuran metil amina, etanol dan dietil amina. Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Apabila kristal zeolit dipanaskan pada suhu  $300^0$ - $400^0$  celcius maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap

### 2.6.3.2 Struktur Zeolit

Struktur zeolit dibentuk dari kerangka tiga dimensi tertahedral dari  $\text{AlO}_4$  dan  $\text{SiO}_4$  yang saling berhubungan melalui atom O dan pada struktur tersebut  $\text{Al}^{3+}$  dapat mengganti  $\text{Si}^{4+}$ . Rumus empiris zeolit adalah :  $\text{M}_{n/2n}\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ .

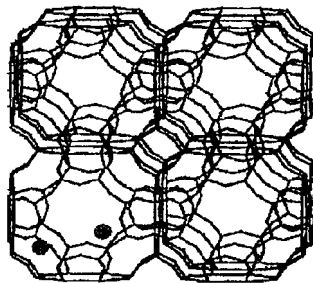
Dimana :

M = kation alkali atau alkali tanah

n = valensi ligam alkali

x = konstanta (2 s/d 10)

y = konstanta (2 s/d 7)



Gambar 2.3 Struktur molekul zeolit

sebagai contoh adalah penurunan unit klinoptilolit yang merupakan jenis umum dijumpai yaitu :  $(\text{Na}_4\text{K}_4)(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ . ion  $\text{K}^{3+}$  dan  $\text{Na}^{3+}$  merupakan struktur kation dengan oksigen yang membentuk struktur tetrahedral. Molekul-molekul air yang terdapat dalam zeolit merupakan molekul yang mudah lepas. Komponen utama pembangunan struktur zeolit adalah bangunan primer  $(\text{SiO}_4)^{4-}$  yang mampu membentuk struktur tiga dimensi. Muatan listrik yang dimiliki oleh kerangka zeolit, baik yang ada di permukaan maupun di dalam pori-pori menyebabkan zeolit berperan sebagai penukar ion, mengadsorpsi dan katalis.

### 2.6.3.3 Kegunaan Zeolit

#### 1. Komersial dan domestik

Zeolit digunakan bermacam-macam misalnya sebagai bed ion-exchange dalam pemurnian air untuk domestik maupun untuk komersial, softening, dan aplikasi lainnya. Dalam kimia zeolit biasa digunakan untuk memisahkan molekul-molekul, sebagai perangkap untuk molekul sehingga dapat di analisis, sebagai katalis dan sebagainya.

#### 2. Pertanian

Dalam pertanian, clinoptilolite (zeolit alam) biasa digunakan untuk pengolahan tanah.

#### 3. Kedokteran

Zeolit sebagai molecular sieve untuk mengekstrak oksigen dari udara,

#### 4. Konstruksi

Zeolit sintesis juga digunakan sebagai bahan tambahan dalam proses pencampuran beton aspal.

#### 5. dll.

### 2.6.3.4 Aktivasi Zeolit

Proses aktivasi zeolit alam dilakukan secara kimia yaitu dengan penambahan larutan kimia seperti asam (HCl) atau basa (NaOH). Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi maupun kapasitas tukar ion. Pencucian dengan 0.2 M dapat menaikkan kapasitas adsorpsi dan tukar ion menjadi 250% dari semula (Bambang poerwadi,1998). Sedangkan aktifasi fisika dapat dilakukan dengan cara

pemanasan. Molekul-molekul air yang terperangkap akan terlepas pada pemanasan temperatur 150°C selama satu jam.

#### **2.6.4 Filtrasi**

Filtrasi adalah proses pemisahan zat padat dari fluida (cairan maupun gas) yang membawanya menggunakan suatu medium berpori atau bahan berpori lain untuk menghilangkan sebanyak mungkin zat padat halus yang tersuspensi dan koloid.

Klasifikasi filter berdasarkan tipe dari media yang digunakan dikelompokkan sebagai berikut :

1. Single media : satu jenis media. Biasanya media yang digunakan pasir silika, dan dolomite saja.
2. Dual media : terdiri dari dua media. Biasanya yang dipakai pasir silika, dan anthrasit
3. Multi media : terdapat tiga media. Biasanya pasir silika, anthrasit dan garnet.

(Reynolds,1982)

Secara umum filtrasi berdasarkan kecepatan penyaringan, dibagi menjadi dua :

1. Saringan Pasir Lambat (SSF)

Saringan pasir lambat menggunakan pasir dengan diameter berkisar antara 0.15 – 0.5 mm, dan laju penyaringan sebesar 0.1 – 0.3 m/jam, dan proses yang terjadi secara fisika – biologi – biokimia dengan waktu operasi 20 – 100 hari

2. Saringan Pasir Cepat (RSF)

Saringan pasir cepat dapat menggunakan media tunggal, media ganda, atau multi media. Ukuran butiran media pasir berkisar antara 0.5 – 2.0 mm, dengan laju aliran 5 – 15 m/jam dan waktu operasi berkisar antara 1 – 3 hari.

Pasir adalah media filter yang paling umum dipakai dalam proses penjernihan air, karena pasir dinilai ekonomis, tetapi tidak semua pasir dapat dipakai sebagai media filter. Artinya diperlukan pemilihan jenis pasir, sehingga diperoleh pasir yang sesuai dengan syarat-syarat media pasir. Dalam memilih jenis pasir sebagai media filter hal-hal yang diperhatikan adalah :

- a. Senyawa kimia pada pasir
- b. Karakteristik fisik pasir
- c. Persyaratan kualitas pasir yang disyaratkan
- d. Jenis pasir dan ketersediaannya

#### **2.6.4.1 Susunan Kimia Pasir**

Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan  $\text{SiO}_2$ , yang tinggi, karena  $\text{SiO}_2$  yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakin tinggi pula (Lewis, 1980). Proses yang terpenting dalam filter yang berhubungan dengan kekerasan pasir adalah pencucian pasir.



#### 2.6.4.2 Karakteristik Fisik Pasir

Karakteristik fisik pasir yang perlu diperhatikan untuk media filter antara lain adalah :

- Bentuk Pasir

Bentuk pasir sangat berpengaruh terhadap kelolosan / permeabilitas. Menurut bentuknya pasir dapat dibagi menjadi 3, yaitu : bundar, menyudut tanggung, dan bundar menyudut (Lewis, 1980). Umumnya dalam satu jenis pasir ditemukan bentuk lebih dari satu bentuk butir. Pasir dengan bentuk bundar memberikan kelolosan lebih tinggi dari pada pasir bentuk lain.

- Ukuran Butiran Pasir

Butiran pasir berukuran kasar dengan diameter  $> 2$  mm memberikan kelolosan yang besar, sedangkan ukuran pasir berukuran halus dengan diameter 0,15-0,45 mm memberikan kelolosan yang rendah. Factor yang penting dalam memilih ukuran butiran pasir sebagai media saring adalah *effective size (ES)*

- Kemurnian pasir

Pasir yang digunakan sebagai media saringan semurni mungkin, artinya pasir benar-benar bebas dari kotoran, misalnya lempung. Pasir dengan kandungan lempung yang tinggi jika digunakan sebagai media filter akan berpengaruh pada kualitas filtrate yang dihasilkan.

- Kekerasan pasir

Kekerasan pasir dihubungkan dengan kehancuran pasir selama pemakaian sebagai media filter. Kekerasan berhubungan erat dengan kandungan SiO<sub>2</sub> yang tinggi, maka akan memberikan kekerasan yang tinggi pula.

Saringan pasir bertujuan mengurangi kandungan lumpur dan bahan-bahan padat yang ada di air. Ukuran pasir untuk menyaring bermacam-macam, tergantung jenis bahan pencemar yang akan disaring. Pengamatan tentang bahan padat yang terapung, seperti potongan kayu, dedaunan, sampah, dan kekeruhan air perlu dilakukan untuk menentukan ukuran yang akan dipakai. Semakin besar bahan padat yang perlu disaring, semakin besar ukuran pasir.

Umumnya, air kotor yang akan disaring oleh pasir mengandung bahan padat dan endapan lumpur. Karena itu, ukuran pasir yang dipakai pun tidak terlalu besar. Yang lazim dimanfaatkan adalah pasir berukuran 0,2 mm - 0,8 mm.

Berdasarkan ukuran pasir, maka dapat dibedakan dua tipe saringan pasir, yakni saringan cepat dan saringan lambat. Saringan cepat dapat menghasilkan air bersih sejumlah 1,3 - 2,7 liter/m<sup>3</sup>/detik. Diameter pasir yang dipakai 0,4 mm - 0,8 mm dengan ketebalan 0,4 m - 0,7 m. Saringan pasir lambat menghasilkan air bersih 0,034 - 0,10 liter/m<sup>3</sup>/detik. Diameter pasir yang dipakai sekitar 0,2 mm - 0,35 mm dengan ketebalan 0,6 mm - 1,2 mm. Saringan pasir hanya mampu menahan bahan padat terapung. Ia tidak dapat menyaring virus atau bakteri pembawa bibit penyakit. Itulah sebabnya air yang sudah melewati saringan pasir masih tetap harus disaring lagi oleh media lain. Saringan pasir ini harus dibersihkan secara teratur pada waktu-waktu tertentu.



Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada 4 (empat) faktor dan menentukan hasil penyaringan dalam bentuk kualitas effluent serta masa operasi saringan yaitu :

- a. Kualitas air baku, semakin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh.
- b. Suhu, Suhu yang baik yaitu antara 20-30 °C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
- c. Kecepatan Penyaringan, Pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan. Berbagai hasil penelitian ternyata, kecepatan penyaringan tidak mempengaruhi terhadap kualitas effluent. Kecepatan penyaringan lebih banyak terhadap masa operasi saringan. (Huisman, 1975)
- d. Diameter butiran, secara umum kualitas effluent yang dihasilkan akan lebih baik bila lapisan saringan pasir terdiri dari butiran-butiran halus. Jika diameter butiran yang digunakan kecil maka yang terbentuk juga kecil. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyaringan.

#### **2.6.4.3 Mekanisme Filtrasi**

Menurut Razif (1985), proses filtrasi adalah kombinasi dari beberapa fenomena yang berbeda, yang paling penting adalah :

1. *Mechanical Straining*, yaitu proses penyaringan partikel *suspended matter* yang terlalu besar untuk bisa lolos melalui lubang antara

butiran pasir, yang berlangsung diseluruh permukaan saringan pasir dan sama sekali tidak bergantung pada kecepatan penyaringan.

2. Sedimentasi, akan mengendapkan partikel *suspended matter* yang lebih halus ukurannya dari lubang pori pada permukaan butiran. Proses pengendapan terjadi pada seluruh permukaan pasir.
3. Adsorption adalah proses yang paling penting dalam proses filtrasi. Proses adsorpsi dalam saringan pasir lambat terjadi akibat tumbukan antara partikel-partikel tersuspensi dengan butiran pasir saringan dan dengan bahan pelapis seperti gelatin yang pekat yang terbentuk pada butiran pasir oleh endapan bakteri dan partikel koloid. Proses ini yang lebih penting terjadi sebagai hasil daya tarik menarik elektrostatis, yaitu antara partikel-partikel yang mempunyai muatan listrik yang berlawanan.
4. Aktivitas kimia, beberapa reaksi kimia akan terjadi dengan adanya oksigen maupun bikarbonat.
5. Aktivitas biologis yang disebabkan oleh mikroorganisme yang hidup dalam filter.

### **2.6.5 Adsorpsi**

Adsorpsi adalah proses yang terjadi pada permukaan suatu zat padat yang berkontak dengan suatu larutan dimana terjadi akumulasi molekul-molekul larutan pada permukaan zat padat tersebut.

Makin rendah kelarutan suatu zat organik di dalam air, makin mudah diadsorpsi dari larutannya. Hal yang sama, makin kurang polar suatu larutan senyawa organik makin baik teradsorpsi dari larutan yang bersifat polar ke permukaan yang non polar.

Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorban. Dimana adsorbat adalah substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya. Sedangkan adsorban adalah media penyerap dalam hal ini berupa senyawa karbon.

#### **2.6.5.1 Mekanisme Adsorpsi**

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia-fisika antara substansi dengan penyerapnya. Proses perlekatan dapat saja terjadi antara cairan dan gas, padatan, atau cairan lain.

Adsorpsi fisik terjadi karena adanya ikatan Van der Waals, dan bila ikatan tarik antar molekul zat terlarut dengan zat penyerapnya lebih besar dari ikatan antar molekul zat terlarut dengan pelarutnya maka zat terlarut akan diadsorpsi (Reynol, 1982). Sedangkan adsorpsi kimia merupakan hasil dari reaksi kimia antara molekul adsorbat dan adsorban dimana terjadi pertukaran elektron (Benefield, 1982).

Pada air buangan proses adsorpsi adalah merupakan gabungan antara adsorpsi secara fisika dan kimia yang sulit untuk dibedakan, namun demikian tidak akan mempengaruhi analisa pada proses adsorpsi. Adsorpsi terhadap air buangan mempunyai tahapan proses seperti berikut (Benefield, 1982) :

1. Transfer molekul-molekul adsorbat menuju lapisan film yang mengelilingi adsorban
2. Difusi adsorbat melalui lapisan film (*film diffusion*)
3. Difusi adsorbat melalui kapiler atau pori-pori dalam adsorban (*process pore diffusion*)
4. Adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorban

#### **2.6.5.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi**

Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme adsorpsi adalah agitasi, karakteristik karbon aktif, ukuran molekul adsorbat, pH larutan, temperatur dan waktu kontak (Benefield, 1982).

1. Agitasi

Tingkat adsorpsi dipengaruhi oleh difusi film atau difusi pori yang bergantung pada jumlah agitasi dalam system. Jika agitasi yang terjadi antara partikel karbon dengan cairan relative kecil, permukaan film dari liquid sekitar partikel akan menjadi tebal dan difusi film akan terbatas.

2. Karakteristik karbon aktif

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik terpenting dari karbon aktif sebagai adsorbat. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi yang terjadi. Tingkat adsorpsi meningkat seiring mengecilnya ukuran partikel. Tingkat adsorpsi untuk karbon aktif powder lebih cepat dari granular

### 3. Ukuran molekul Adsorbat

Ukuran molekul merupakan bagian yang penting dalam adsorpsi karena molekul harus memasuki micropore dari partikel karbon untuk adsorpsi. Tingkat adsorpsi biasanya meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran molekul adsorbat.

Kebanyakan limbah terdiri dari bahan-bahan campuran sehingga ukuran molekulnya berbeda-beda. Pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutup pori sehingga mencegah jalan masuknya molekul yang lebih kecil.

### 4. pH

pH mempunyai pengaruh yang sangat besar pada proses adsorpsi, karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan. Asam organik dapat diadsorpsi dengan mudah pada pH rendah, sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi. pH optimum untuk proses adsorpsi harus didapat dari tes laboratorium.

### 5. Suhu

Tingkat adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan akan menurun dengan menurunnya suhu. Karena adsorpsi merupakan proses eksoterm, maka dari itu tingkat adsorpsi umumnya meningkat sejalan dengan menurunnya suhu dan menurun pada suhu tinggi.

### 6. Waktu kontak

Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Gaya adsorpsi molekul dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontak dengan karbon aktif makin lama. Waktu kontak yang lama

memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi lebih baik.

### 2.6.5.3 Isotherm Adsorpsi

Data yang dikumpulkan selama pengujian adsorpsi akan menunjukkan kemampuan karbon dan akan memberikan informasi yang berharga jika dapat diterangkan dengan baik. Beberapa persamaan matematika telah dikembangkan untuk menguraikan distribusi equilibrium atau keseimbangan antara fase cair dan padat dan tujuannya untuk menjelaskan data adsorpsi. Persamaan ini diterapkan ketika tes adsorpsi dilakukan pada suhu yang konstan yang kemudian dikenal sebagai isotherm adsorpsi. Ada tiga macam persamaan isotherm adsorpsi yang biasa digunakan yaitu Isotherm Langmuir, Isotherm Freundlich dan Isotherm Brunaur-Emmett-Tellet (BET) (Benefield, 1982).

#### 1. Isotherm Langmuir

$$\frac{x}{m} = \frac{abC}{1 + aC} \quad (\text{pers. 2.6})$$

dimana :

- x = jumlah material adsorbat (mg atau g)
- m = berat adsorban (mg atau g)
- C = konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi
- a dan b = konstanta

#### 2. Isotherm Freundlich yang merupakan suatu rumus empiris yang mewakili equilibrium adsorpsi untuk konsentrasi zat terlarut tertentu :



$$\frac{x}{m} = KC^n \quad (\text{pers. 2.7})$$

dimana :

x = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi (mg atau g)

m = berat adsorban

C = konsentrasi larutan (mg/L)

K dan n = konstanta eksperimen

### 3. Isotherm Brunaur-Emmett-Teller (BET)

$$\frac{x}{m} = \frac{ACx_m}{(C_s - C) \left[ 1 + (A-1) \frac{C}{C_s} \right]} \quad (\text{pers 2.8})$$

dimana :

x = jumlah zat terlarut yang diadsorpsi (mg atau mol)

m = berat adsorban (mg atau g)

$x_m$  = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi dalam bentuk monolayer yang komplit (mg/g, atau mol/g)

$C_s$  = konsentrasi jenuh larutan (mg/L, mol/l)

C = konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L, mol/l)

A = konstanta dari energi interaksi antara larutan dan permukaan adsorben

#### **2.6.5.4 Regenerasi Karbon**

Peremajaan karbon adalah suatu sistem dimana karbon yang telah jenuh dengan bahan-bahan organik terserap dan tidak dapat lagi dilepas oleh sistem pencucian, akan dilepas dengan memberi uap panas.

Uap panas yang diperlukan untuk melepaskan senyawa-senyawa organik terserap adalah sama besarnya panas yang dibutuhkan untuk menguapkan senyawa organik dalam proses penguapan senyawa organik suatu substansi, yaitu sebesar 1600 sampai 1800 °F (Cheremisionoff, 1978).

### **2.7 Hipotesis**

Hipotesis yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah :

1. Kombinasi proses areasi, adsorpsi, dan filtrasi dalam reaktor Aerokarbonfilter akan memberikan tingkat penurunan konsentrasi BOD dan Fenol yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit
2. Makin lama pemakaian zeolit maka akan makin jenuh.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Lokasi Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UII Yogyakarta dan BPKL Yogyakarta.

#### **3.2 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian mengenai pengukuran parameter BOD dan Fenol pada air limbah, adalah untuk mengetahui konsentrasi BOD dan Fenol pada air sampel dari air limbah rumah sakit dan air hasil pengolahan dengan menggunakan reaktor aerokarbonfilter. Dan untuk mengetahui nilai efisiensi dari reaktor aerokarbonfilter untuk menurunkan konsentrasi BOD dan Fenol. Serta untuk mengetahui titik jenuh zeolit sebagai adsorben. Pemeriksaan air sampel dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP, UII.

#### **3.3. Objek Penelitian**

Objek penelitian merupakan limbah cair rumah sakit PKU Muhammadiyah Yogyakarta, yang berasal dari kegiatan Lab dan berasal dari bangsal-bangsal yang tercampur pada bak penampung sementara yang terpisah dengan bak penampung limbah yang berasal dari dapur.

### **3.4 Variabel Yang Diteliti**

Variabel-variabel penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Parameter yang diteliti adalah BOD dan Fenol.
- b. Variabel penelitian adalah perbandingan inlet dan outlet dari tiap-tiap parameter pada masing-masing media proses dalam reaktor serta waktu jenuh zeolit.

### **3.5 Aerokarbonfilter**

#### **3.5.1 Desain reactor**

Perencanaan pembuatan reaktor yang akan digunakan dalam penelitian ini antara

lain :

- a. Aerasi

Aerasi yang digunakan adalah tipe multipletray aerasi. Jumlah tray 4 buah dengan jarak tiap tray 0,1 m.

- b. Zeolit

Ketebalan zeolit dalam reaktor 40 cm.

- c. Pasir

Media penyaring yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pasir kuarsa. Tipe saringan pasir cepat dengan diameter pasir 0,4-0,8 mm dan ketebalan 0,4 m.

### 3.5.2 Dimensi Reaktor

Reaktor yang direncanakan terbuat dari kaca. Reaktor yang digunakan adalah jenis reaktor bertingkat yang susunannya terdiri atas aerasi, zeolit, dan filter pasir.

Perhitungan dimensi reaktor dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3.1. Dimensi reaktor aerokarbonfilter**

Dimensi	Simbol	Hasil perhitungan	Satuan	Pers.yang digunakan
panjang	L	0.3	m	
lebar	W	0.3	m	
tinggi pasir	Tp	0.4	m	
Tinggi zeolit	Tk	0,4	m	
Tinggi tray aerasi	Tt	4 x 0,1	m	
luas area	A	0,12	m	L x W
volum reaktor	Vr	0,12	m	Ax(Tp+Tk+Tt)
debit	Q	0,01	l/detik	

Cara Kerja :

1. Pengukuran parameter BOD dan Fenol pada air baku
2. Air baku ditampung pada sebuah bak penampung (ember) yang terletak diatas.

3. Air mengalir menuju pipa yang bercabang-cabang dan berlubang-lubang, sehingga air akan keluar dengan memancar dan terjadi kontak dengan udara (aerasi)
4. Air jatuh di permukaan zeolit dan terjadi adsorpsi zat-zat pencemar,
5. air jatuh menuju filter pasir dan terjadi penyaringan oleh pasir
6. Pengukuran konsentrasi BOD dan Fenol ada effluent.

### 3.5.3. Pembuatan Reaktor Aerokarbonfilter

#### 1. Alat

Alat yang digunakan dalam pembuatan reaktor aerokarbonfilter, antara lain:

- |                 |           |
|-----------------|-----------|
| a) Gergaji besi | d) Spidol |
| b) Cutter       | e) Bor    |
| c) Penggaris    |           |

#### 2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam pembuatan reaktor aerokarbonfilter, antara lain:

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| a) Kaca            | h) Selan plastik |
| b) Akrilik         | i) Gate Valve    |
| c) Besi siku       | j) Pompa         |
| d) Pipa PVC        | k) Lem           |
| e) Sekrup          | l) Ember         |
| f) Selang plastic  |                  |
| g) Media penyaring |                  |
| • Pasir Kuarsa     |                  |

- Pasir Zeolit
- Lubang aerasi

### 3.6. Analisa Kualitas Sampel

Analisa kualitas air sampel yang dilakukan sesuai dengan SNI, yaitu

1. Cara uji kadar BOD dalam air sampel : (SNI M-38-1990-03)
2. Cara uji kadar Fenol dalam air sample : (SNI 06-6989.21-2004)

### 3.7 Analisa Data

Untuk mengetahui tingkat efisiensi dari reactor yang akan diteliti, maka dilakukan analisa data yang diperoleh dari hasil pengamatan, baik data utama (tingkat removal) maupun data pendukung.

Sedangkan untuk memudahkan pengolahan data, maka dipergunakan uji statistic, misalnya dengan analisa varians (ANOVA).

Analisa dilakukan untuk tiap bagian/sistem, yaitu tray aerasi, zeolit, dan *sand filter* serta total sistem (*Aerokarbonfilter*). Untuk mengetahui efisiensi dari masing- masing sistem tersebut dilakukan dengan cara sebagai berikut :

#### **Efisiensi Tray Aerasi**

Untuk mengetahui tingkat efisiensi tray aerasi terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

- Mengukur kadar masing-masing parameter uji di inlet dan outlet 1  
(lihat gambar reaktor)

- Menghitung efisiensi removal dengan persamaan :

$$\eta = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0} \times 100\%$$

### **Efisiensi Zeolit**

Untuk mengetahui tingkat efisiensi zeolit terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

- Mengukur kadar masing-masing parameter uji di inlet dan outlet 2 (lihat gambar reaktor)
- Menghitung besarnya efisiensi removal dengan persamaan :

$$\eta = \frac{(C_0 - C_2)}{C_0} \times 100\%$$

### **Efisiensi Sand Filter**

Untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem *Sand filter* terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

- Mengukur kadar masing-masing parameter uji di inlet dan outlet 3 (lihat gambar reaktor)
- Menghitung besarnya efisiensi removal dengan persamaan:

$$\eta = \frac{(C_0 - C_3)}{C_0} \times 100\%$$

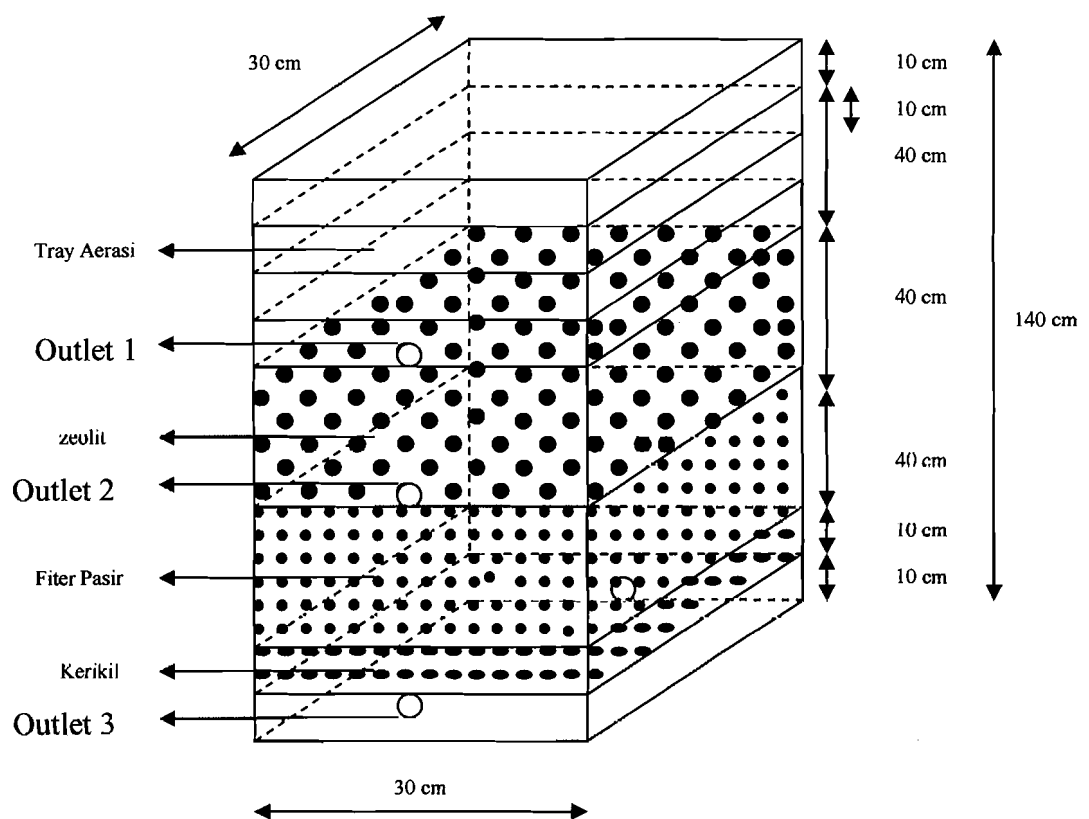
### **Efisiensi Aerokarbonfilter :**

Untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem Aerokarbonfilter terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

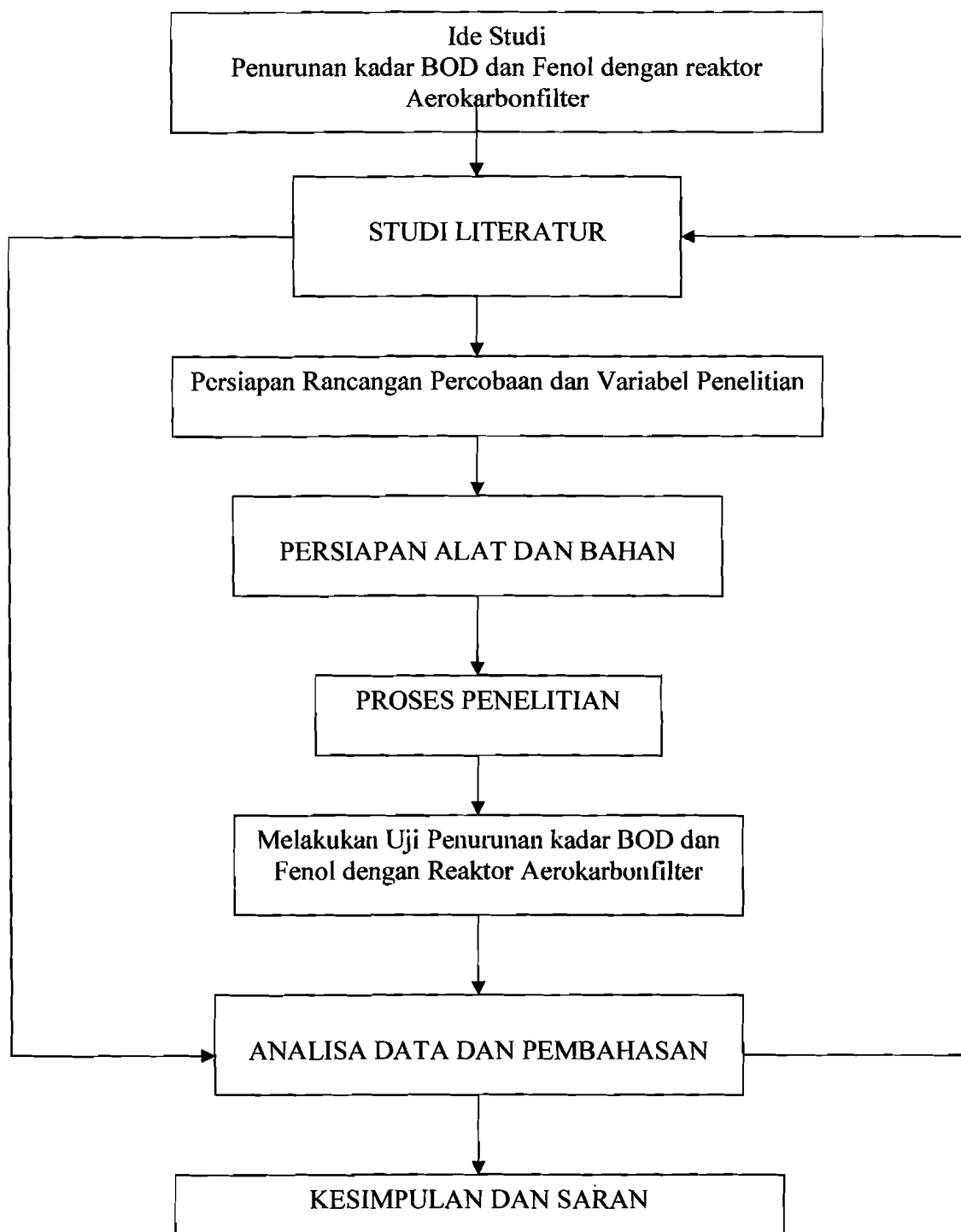


- Mengukur kadar masing-masing parameter uji di inlet dan outlet 3  
(lihat gambar reaktor)
- Menghitung besarnya efisiensi removal dengan persamaan:

$$\eta = \frac{(C_0 - C_3)}{C_0} \times 100\%$$



**Gambar 3.1 Reaktor Aerokarbonfilter**

**3.8 Diagram alir penelitian****Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian**

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini untuk mengetahui tingkat efisiensi dari reactor yang digunakan yakni, aerakarbonfilter dalam hal menurunkan konsentrasi BOD dan Fenol serta waktu jenuh dari adsorben dalam mengadsorpsi bahan pencemar tersebut.

Reaktor yang digunakan tersusun dari tiga media yakni, aerasi, zeolit, dan pasir silica. Pemeriksaan sample dilakukan dengan variasi waktu 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit. Sedangkan pengambilan sample dilakukan pada outlet tiap media tersebut dengan durasi waktu yang disebut di atas serta inlet yang diambil dari bak penampungan limbah.

Pengujian awal dilakukan pada bak penampung inlet untuk kemudian dibandingkan dengan konsentrasi outlet yang keluar dari tiap-tiap media proses. Sedangkan untuk mengetahui tingkat efisiensi dari tiap media digunakan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{(C_0 - C_1)}{C_0} \times 100\%$$

Dimana  $C_0$  : konsentrasi inlet (mg/L)

$C_1$  : konsentrasi outlet (mg/L)

#### 4.1 Hasil Pengujian Kadar BOD dan Fenol Setelah Proses Pengolahan

##### 4.1.1 Hasil Pengujian dan Penurunan Kadar BOD pada Media Aerasi, Zeolit, dan Pasir Silika

Tabel 4.1. Hasil Percobaan Terhadap Parameter BOD

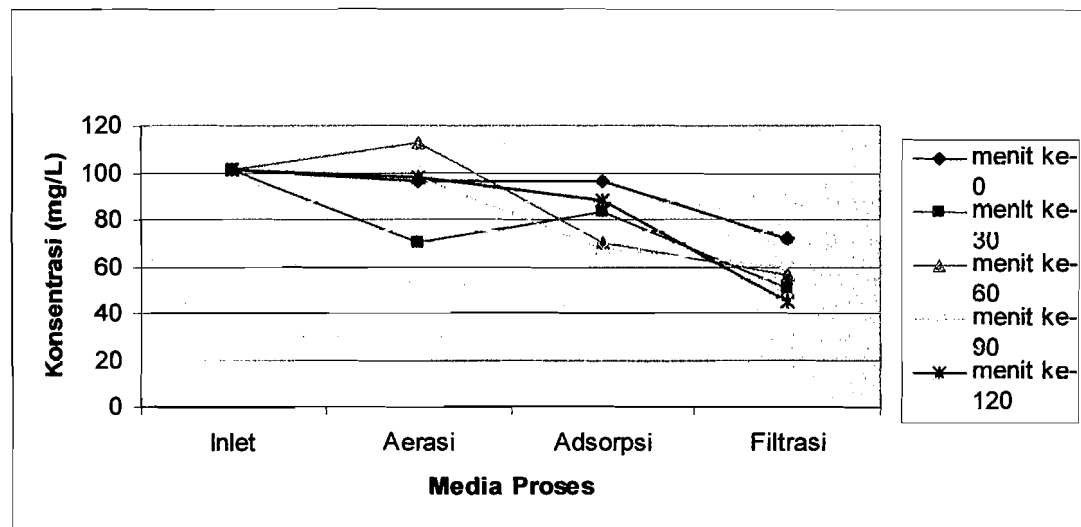
Waktu (Menit)	Media					
	Aerasi		Zeolit		Filtrasi	
	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi (%)
Inlet	101	0	a*)	0	b*)	0
0	96	4.9504	96	0	72	25
30	70	30.693	83	-18.571	51	38.554
60	113	-11.881	70	38.053	56	20
90	98	2.970	68	30.612	60	11.764
120	98	2.970	88	10.204	45	48.863

(Sumber : Hasil uji lab)

a\*) : nilai konsentrasi pada outlet aerasi

- : tidak terjadi penurunan

b\*) : nilai konsentrasi pada outlet zeolit



Gambar 4.1 Konsentrasi BOD pada tiap-tiap media proses

Tabel 4.2. Hasil Percobaan Terhadap Parameter Fenol

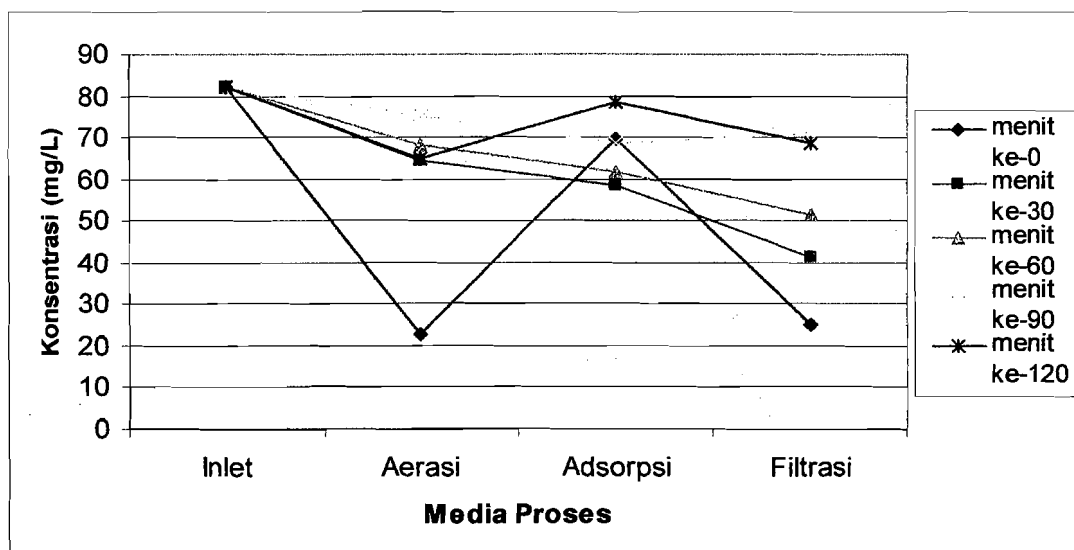
Waktu (Menit)	Media					
	Aerasi		Zeolit		Filtrasi	
	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (mg/L)	Efisiensi (%)
Inlet	82.186		a*)		b*)	
0	22.884	72.155	69.46	-	25.264	63.628
30	64.619	21.374	58.668	9.20937	41.439	29.366
60	68.325	16.865	61.889	9.41969	51.588	16.644
90	74.946	8.809	68.657	8.39138	71.157	-
120	64.951	20.970	78.256	-	68.854	12.014

(Sumber : Hasil uji laboratorium)

- : tidak terjadi penurunan

a\*) : nilai konsentrasi pada outlet aerasi

b\*) : nilai konsentrasi pada outlet zeolit



Gambar 4.2 Konsentrasi Fenol pada tiap-tiap media proses

#### 4.1.2 Penurunan Kadar BOD dan Fenol Pada Proses Aerasi, Adsorpsi, dan Filtrasi

##### a. Aerasi

Aerasi bertujuan untuk melarutkan oksigen kedalam air. Pada penelitian ini teknik aerasi yang digunakan adalah Tray Aerasi yang tersusun atas empat tray. Pada tiap tray terdapat lubang-lubang yang berguna untuk memperluas permukaan air limbah sehingga oksigen yang terlarut diharapkan akan lebih banyak. BOD atau *Biological Oxygen Demand* merupakan kebutuhan oksigen untuk mendegradasikan zat organik dalam larutan secara aerob. Pengujian kadar BOD merupakan  $BOD_5^{20}$  artinya selisih kebutuhan oksigen pada hari ke-5 dengan kebutuhan oksigen segera pada suhu 20°C. Proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme atau oleh bakteri aerobik adalah sebagai berikut :

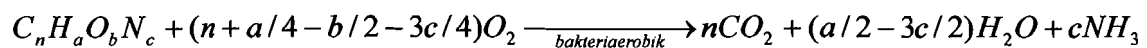


Table 4.1 menunjukkan untuk menit ke- 0, konsentrasi BOD menjadi 96 mg/L atau terjadi efisiensi sebesar 4,95 % dan pada menit ke-30, konsentrasi BOD sebesar 70 mg/L dengan efisiensi meningkat menjadi 30,69 %. Peningkatan efisiensi lebih disebabkan karena jumlah oksigen yang terlarut dalam air limbah menjadi lebih banyak akibat meluasnya permukaan air limbah tersebut akibat adanya lubang-lubang pada tray. Oksigen dapat digunakan untuk mengoksidasi senyawa-senyawa organik menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana. Pada proses aerasi efisiensi perombakan bahan organik tergantung dari nisbah C : N limbah, jumlah dan tipe mikroba serta factor lingkungan seperti pH, temperature dan tersedianya oksigen

(Theresia, 1994). Namun pada menit ke-60 konsentrasi BOD menjadi 113 mg/L atau mengalami kenaikan dibanding dengan konsentrasi pada inlet. Kenaikan ini mungkin dapat disebabkan karena perubahan konsentrasi pada bak penampung inlet akibat adanya reaksi-reaksi yang terjadi pada bak inlet mengingat unsur-unsur yang ada pada bak inlet yang cukup banyak selain dari parameter pada penelitian ini, sehingga konsentrasi BOD yang masuk ke aerasi menjadi tidak sama, untuk itu penelitian berikutnya diharapkan untuk mengukur konsentrasi BOD pada tiap-tiap waktu. Pada menit ke- 90 dan menit ke- 120, konsentrasi BOD pada outlet di aerasi menjadi 98 mg/L dengan efisiensi sebesar 2,97 % atau terjadi penurunan efisiensi bila dibandingkan pada menit ke- 0 maupun menit ke- 30. Penurunan tingkat efisiensi ini dapat disebabkan oleh perbedaan impuritas akibat adanya pengadukan selama proses *running*. Impuritas atau tingkat kekotoran dalam limbah dapat menghalangi difusi oksigen, impuritas ini menyebabkan perubahan harga kL (Koefisien Distribusi) (Topo Widodo, dkk, 2005). Menurut Eckenfelder (2000) koefisien transfer oksigen (kLa), yang biasanya digunakan untuk menghitung laju transfer gas, dipengaruhi oleh karakteristik variabel yang bersifat fisis dan kimiawi dari sistem aerasi dan karakteristik air limbah. Banyaknya oksigen yang dibutuhkan sesuai dengan bahan organik yang ada (Pelczer, M, 1974). Jadi makin sedikit oksigen yang terlarut dalam limbah maka zat organik yang dioksidasi juga sedikit, sehingga penurunan konsentrasi BOD pun tidak terlalu signifikan.

Fenol merupakan senyawa organik yang mengandung gugus hidroksil terikat langsung pada atom karbon dalam cincin benzena. Pada penelitian ini hubungan antara penurunan konsentrasi BOD dan penurunan konsentrasi fenol diabaikan.

Konsentrasi fenol awal atau inlet pada penelitian ini sebesar 82,186 mg/L. Perlakuan pengambilan sampel sama seperti pada pengukuran konsentrasi BOD yakni diambil pada outlet aerasi, zeolit dan filtrasi, dengan durasi waktu 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

Pada Tabel 4.2 menunjukkan konsentrasi fenol pada menit ke- 0 pada outlet aerasi sebesar 22,884 mg/L atau efisiensi penurunan sebesar 72,155 %. Pada menit ke- 30, konsentrasi fenol sebesar 64,619 mg/L. Sedangkan pada menit ke-60, konsentrasi fenol pada outlet aerasi menjadi 68,325 mg/L dengan efisien sebanyak 16,86 %. Pada menit ke-90 dan menit ke-120 konsentrasi fenol menjadi 74,946 mg/L dan 64,951 mg/L atau memiliki masing-masing efisiensi sebesar 8,80% dan 20,7%.

Trasnfer oksigen merupakan pemberian oksigen ke dalam air. Proses pemberian air ke dalam air limbah merupakan salah satu usaha dari pengambilan zat pencemar. Udara dalam oksigen transfer dibutuhkan untuk menguraikan zat organik secara aerob. Menurut Degremont (1975), transfer oksigen mempunyai fungsi, antara lain yakni menggerakkan cairan sehingga polutan atau zat pencemar yang terdapat dalam air buangan dan oksigen yang masuk tercampur dengan baik, membentuk cairan yang homogen. Senyawa organik seperti fenol, tapioka, zat warna, zat pembawa rasa dan bau dapat dihancurkan dengan cara oksidasi memakai udara (Mahida, 1988). Penggelembungan udara juga bertujuan untuk menormalkan kembali oksigen yang terlarut (menurunkan BOD, COD, dan asam sianida) dalam limbah.

Penurunan konsentrasi fenol juga dapat disebabkan karena sifat dari fenol itu sendiri yang dapat bereaksi dengan polutan-polutan lain yang terdapat bak inlet sehingga membentuk senyawa-senyawa baru sehingga konsentrasi fenol itu sendiri berkurang



pada bak inlet. Adanya khlor dalam air limbah akan mengakibatkan fenol akan bereaksi dengan khlor membentuk fenol terklorinasi. Fenol yang bereaksi dengan klor dapat menyebabkan bau pada air limbah. Semakin banyak jumlah khlor yang terdapat pada senyawa ini, kecepatan dekomposisinya semakin berkurang dan sifat toksisnya pada umumnya semakin bertambah. Selain faktor di atas adanya sejumlah mikroba yang hadir secara alamiah pada bak inlet dapat menyebabkan konsentrasi fenol turun, seperti mikroba jenis pseudomonas yang menggunakan fenol sebagai makanannya tanpa efek toksik. Bakteri pseudomonas secara alami dapat ditemui dimana-mana termasuk dalam air limbah yang mengandung fenol. Menurut Mariana (2004) bakteri Pseudomonas dapat melakukan metabolisme pada hampir semua jenis zat organik dan dapat bertahan hidup hampir pada semua jenis lingkungan. Menurut Sawyer (2003) bakteri akan memanfaatkan fenol sebagai makanannya tanpa menimbulkan toksik hingga pada konsentrasi 500 mg/L, sedangkan konsentrasi di atas nilai tersebut akan dapat bersifat toksik.

#### **b. Zeolit Sebagai Media Adsorbent**

Inlet pada menit ke-0, untuk parameter BOD sebesar 96 mg/L. Inlet ini merupakan outlet dari proses aerasi pada menit ke- 0. Setelah melewati media zeolit pada menit ke- 0, konsentrasi BOD tidak mengalami perubahan , yakni tetap 96 mg/L. Sedangkan pada menit ke-30 terjadi kenaikan konsentrasi BOD menjadi 83 mg/L. Tingkat efisiensi yang paling tinggi pada penggunaan zeolit sebagai media adsorpsi ini terjadi pada menit ke- 60, dengan efisiensi sebesar 38,05 %. Pada sampling selanjutnya terjadi penurunan tingkat efisiensi penyerapan, seperti pada

menit ke- 90, efisiensi penyerapan menjadi 30,61 % dan pada menit ke-120, tingkat efisiensi kembali turun menjadi 10,20 %. Penurunan tingkat efisiensi ini mungkin mengindikasikan bahwa zeolit sudah mulai mengalami titik jenuh, namun itu perlu diteliti lebih lanjut. Zeolit mampu menyerap molekul lain yang mempunyai ukuran lebih kecil dari ukuran pori zeolit. Proses adsorpsi oleh zeolit terjadi karena terjebaknya molekul adsorbat dalam rongga zeolit, sedang pada sisi aktifnya terjadi karena interaksi antara sisi tersebut dengan molekul adsorbat. Mekanisme adsorpsi dimulai dengan Bergeraknya spesies adsorbat dari larutan menuju permukaan luar partikel zeolit. Adsorbat tersebut masuk ke dalam rongga-rongga pada permukaan zeolit dan akhirnya terjebak ke dalam rongga zeolit (Aprilita, 2000).

Zeolit mampu mengadsorpsi senyawa organik karena zeolit dapat mengadsorpsi senyawa organik dari air. Namun pada penelitian ini penyerapan senyawa organik oleh zeolit relatif kecil, waktu kontak yang sedikit dapat menyebabkan kurang optimalnya zeolit dalam menyerap senyawa organik konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila waktu kontak cukup dan waktu kontak berkisar 10 – 15 menit (Reynold, 1982). Selain itu, kehadiran polutan-polutan anorganik yang terdapat pada aliran inlet turut mempengaruhi tingkat penyerapan. Menurut Uswatun Hasanah (1998), dalam penelitiannya tingkat adsorpsi senyawa anorganik lebih kuat bila dibandingkan dengan senyawa organik, hal ini dapat disebabkan viktositas limbah cair organik relatif lebih besar dibanding limbah cair anorganik, Untuk itu dalam pengolahan limbah cair organik yang mempunyai senyawa tersuspensi relatif besar perlu pengolahan awal untuk menurunkan kekentalan limbah dan senyawa tersuspensi. Interaksi antara persaingan adsorbat yang berbeda (misal COD, Warna,

Logam berat, Campuran organik, dll) akan mengurangi kapasitas penyerapan dari adsorben (K. Vasanth Kumar, dkk, 2004) selain itu ukuran molekulnya juga berdeda-beda pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutupi pori sehingga mencegah masuknya molekul yang lebih kecil. Kehadiran logam pada limbah juga mempunyai pengaruh besar terhadap adsorpsi bahan organik.

Pada Tabel 4.2, konsentrasi fenol pada menit ke- 0 sebesar 69,46 mg/L dan terjadi kenaikan konsentrasi dari inlet. Pada menit ke- 30 konsentrasi fenol menjadi 58,668 mg/L atau dengan efisiensi sebanyak 9,21 %. Sedangkan pada menit ke-60 dan menit ke-90 konsentrasi fenol menjadi 61,889 mg/L dengan efisiensi sebesar 9,42 % dan 68,657 mg/L dengan tingkat efisiensi sebesar 8,39 %. Pada menit ke-120 konsentrasi fenol menjadi 78,256 mg/L. Peningkatan konsentrasi fenol pada menit ke-120 lebih disebabkan oleh terlepas kembalinya fenol yang sudah di adsorpsi akibat makin banyaknya polutan yang diadsorpsi oleh zeolit.

Fenol merupakan senyawa organik yang memiliki sifat asam karena dapat melepaskan  $H^+$  sehingga kepolarannya tinggi. Sedangkan zeolit mempunyai struktur berpori dan memiliki sisi-sisi aktif seperti hidroksil yang bersifat polar, sehingga zeolit dapat mengadsorpsi dengan baik senyawa polar seperti fenol (Aprilita, 2004). Dalam penelitiannya juga Aprilita (2004) menyimpulkan bahwa zeolit dapat mengadsorpsi fenol karena adanya struktur berongga pada zeolit yang menyebabkan fenol terjebak di dalamnya. Adsorpsi dapat terjadi bila lapisan muka zat padat menarik spesies ionik atau molekular dari cairan ke zat padat.

Namun penyerapan fenol dalam penelitian ini oleh zeolit cukup kecil, yakni berada di bawah 10 %, hal ini dapat disebabkan beberapa faktor, misalnya senyawa-senyawa yang ada pada limbah ikut atau turut berkompetisi dengan fenol. Selain faktor di atas adsorpsi fenol oleh zeolit juga bergantung pada beberapa parameter fisis seperti ukuran partikel zeolit dan waktu kontak. Makin kecil ukuran partikel zeolit, maka jumlah fenol yang diadsorpsi semakin besar artinya makin kecil ukuran partikel zeolit maka jumlah luas permukaan zeolit makin banyak, sehingga kapasitas adsorpsinya makin meningkat. Sedangkan semakin lama waktu kontak, maka jumlah fenol yang diadsorpsi juga semakin banyak (Aprilita, 2000). Sedangkan pada menit ke-0 dan menit ke-120, konsentrasi fenol pada outlet zeolit mengalami kenaikan, hal ini dapat disebabkan perubahan konsentrasi inlet pada bak penampung dan terjadi akumulasi pada media zeolit, sehingga konsentrasi fenol menjadi tinggi. Selain itu hal dapat disebabkan oleh terlepas kembalinya fenol pada zeolit akibat makin banyaknya polutan-polutan lain yang di adsorpsi oleh zeolit

Dalam penelitian ini waktu kontak antara fenol dengan zeolit adalah 1,20 menit, waktu kontak yang sedikit antara zeolit dengan limbah yang mengandung fenol menyebabkan zeolit tidak dapat secara optimal mengadsorpsi senyawa fenol. Dalam penelitiannya Aprilita, 2000 menyatakan bahwa waktu kontak yang kurang dari 30 menit hanya mampu mengadsorpsi fenol kurang dari 10%.

### c. Pasir Silika Sebagai Media Filtrasi

Proses yang terjadi pada media pasir kuarsa adalah penyaringan atau filtrasi. Filtrasi dimaksudkan untuk menyaring polutan-polutan yang ada di dalam limbah. Media yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir kuarsa dan kerikil di bagian bawah untuk menopang pasir. Inlet yang masuk ke media filtrasi merupakan outlet dari media adsorpsi.

Pada Tabel 4.1, terlihat bahwa filtrasi cukup mampu menyaring zat-zat organik yang melewatinya. Pada menit ke- 0, media filtrasi mampu meremoval konsentrasi BOD sebesar 25 %, dan pada menit ke- 30, BOD dapat turun menjadi 51 mg/L atau ter-removal sebesar 38,55 %. Tingkat efisiensi yang paling tinggi terjadi pada menit ke- 120, dimana BOD dapat diremoval oleh media filtrasi hingga mencapai 48,86 %. Penurunan konsentrasi BOD ini dapat terjadi karena tersaringnya zat-zat organik oleh pasir karena pasir kuarsa dapat digunakan sebagai media filtrasi untuk menyaring zat-zat yang lewat.

Sedangkan pada Tabel 4.2, konsentrasi fenol pada menit ke- 0 sebesar 25,26 mg/L dengan tingkat efisiensi sebesar 63,62 %. Pada menit ke- 30 konsentrasi fenol menjadi 41,44 mg/L atau ter-removal sebanyak 29,36 %. Sedangkan pada menit ke- 60, konsentrasi fenol sebesar 51,58 mg/L atau teremoval sebanyak 16,64 % dan pada menit ke-90, konsentrasi fenol menjadi 71,157 mg/L. Pada menit ke-120 konsentrasi fenol menjadi 68,854 mg/L atau ter-removal sebesar 12,014 %.

Pada prinsipnya fenomena yang terjadi selama berlangsungnya penyaringan jenis saringan pasir, meliputi proses *mechanical straining* yakni proses penyaringan partikel *suspended matter* yang terlalu besar untuk bisa lolos melalui lubang antara

butiran pasir, yang berlangsung di seluruh permukaan saringan pasir dan sama sekali tidak bergantung pada kecepatan penyaringan. Yang kedua adalah *adsorption* sebagai akibat adanya tumbukan antara partikel-partikel tersuspensi dengan butiran pasir. Pasir kuarsa juga mampu menarik partikel-partikel yang lewat sebagai hasil dari daya tarik menarik elektrostatik, yaitu antara partikel-partikel yang mempunyai muatan listrik yang berlawanan (Rafiz, 1985). Adanya kenaikan kembali konsentrasi fenol pada menit ke-90 dapat disebabkan terlepasnya kembali fenol pada media pasir.

## 4.2 Titik Jenuh Zeolit

### 4.2.1 Grafik Hasil Pengujian Terhadap Parameter BOD dan Fenol

Untuk memudahkan analisis terhadap titik jenuh zeolit, maka prosentase removal pada media tersebut dibuat tabel seperti di bawah ini.

Tabel 4.3 Efisiensi BOD dan Fenol pada Media Zeolit

Waktu (Menit)	BOD			Fenol		
	Konsentrasi		Efisiensi (%)	Konsentrasi		Efisiensi (%)
	In (mg/L)	out (mg/L)		In (mg/L)	Out (mg/L)	
Inlet	101	101	-	82.186	82.186	-
0	96	96	-	22.884	69.46	-
30	70	83	-	64.619	58.668	9.20937
60	113	70	38.05	68.325	61.889	9.41969
90	98	68	30.61	74.946	68.657	8.39138
120	98	88	10.20	64.951	78.256	-

Dari Tabel 4.3, di atas menunjukkan bahwa zeolit pada menit-menit awal dapat memberikan tingkat adsorpsi yang tinggi terhadap konsentrasi BOD. Tingkat efisiensi untuk parameter BOD mencapai puncaknya pada menit ke- 60, sedangkan pada menit

ke-90 dan menit ke- 120, tingkat efisiensi menurun terus hingga mencapai 10 %. Jadi dapat dikatakan zeolit tersebut mengalami titik jenuh pada menit ke-60.

Penurunan fenol yang paling tinggi terjadi pada menit- 30, yakni sebesar 9,20 %. Sedangkan pada menit ke- 60 tingkat efisien penurunan konsentrasi fenol sebesar 9,41 %. Dan pada menit ke-90 efisiensi penurunan fenol sebesar 8,39 %. Pada menit selanjutnya konsentrasi fenol justru mengalami kenaikan, sehingga dapat dikatakan fenol belum mengalami kejenuhan hingga pada menit ke-120.

Jika dilihat dari tingkat adsorpsi oleh zeolit terhadap BOD dan fenol relative kecil. Hal ini disebabkan waktu kontak yang sedikit antara adsorben dengan adsorbat. Pada penelitian ini waktu kontak yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben sekitar 1,20 menit. Waktu kontak yang sedikit menyebabkan zeolit tidak dapat secara optimal mengadsorpsi adsorbat. Menurut Aprilita (2000) dalam penelitiannya menyatakan bahwa waktu kontak zeolit dengan fenol kurang dari 30 menit hanya mampu menurunkan konsentrasi fenol sekitar 10 %. Jadi semakin lama waktu kontak antara fenol dengan zeolit, maka tingkat adsorpsinya juga akan makin meningkat.

Zeolit dapat jenuh diakibatkan oleh rongga- rongga yang ada pada zeolit tersebut sudah terenuhi oleh polutan-polutan yang terkandung dalam limbah yang telah diadsorpsi. Seperti di atas, limbah pada percobaan ini merupakan limbah rumah sakit yang mengandung berbagai macam polutan yang juga ikut berkompetisi dengan fenol, sehingga rongga zeolit tersebut akan mengalami kejenuhan. Namun mengingat zeolit yang digunakan dalam penelitian ini cukup banyak, yakni 27 kg dan debit yang cukup kecil sekitar 0.01 L/dtk, serta konsentrasi pencemar yang relatif tinggi, maka cepatnya zeolit mencapai penurunan tingkat adsorpsi, dapat disebabkan karena

pengaliran air limbah yang tidak merata ke seluruh zeolit selama proses *running*, sehingga air limbah hanya kontak dengan sekian zeolit yang dilewatinya serta adanya polutan lain yang lebih mudah diadsorpsi oleh zeolit.

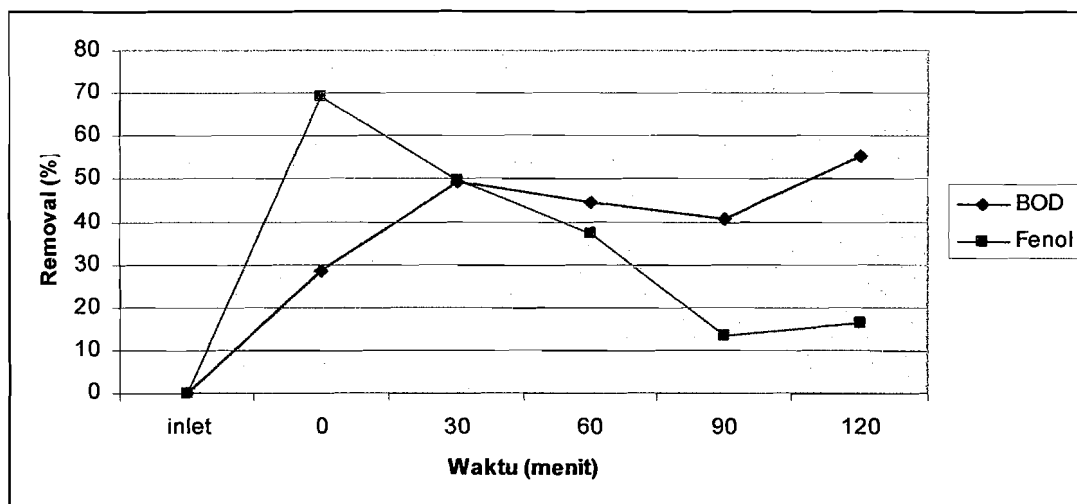
#### 4.3 Efisiensi Penurunan Konsentrasi BOD dan Fenol pada Reaktor Aerokarbonfilter

Efisiensi penurunan konsentrasi BOD dan fenol diketahui dengan cara membandingkan antara konsentrasi BOD dan fenol pada inlet media aerasi dengan konsentrasi BOD dan fenol pada outlet filtrasi. Berikut table dan grafik yang menunjukkan penurunan konsntrasi BOD dan fenol pada reaktor aerokarbonfilter.

Tabel 4.4 Efisiensi Penurunan BOD dan Fenol pada Reaktor Aerokarbonfilter

Waktu (Menit)	BOD			Fenol		
	Konsentrasi		Efisiensi (%)	Konsentrasi		Efisiensi (%)
	In (mg/L)	out (mg/L)		In (mg/L)	Out (mg/L)	
Inlet	101	101	-	82.186	82.186	-
0	101	72	28.71	82.186	25.264	69.259
30	101	51	49.50	82.186	41.439	49.579
60	101	56	44.55	82.186	51.588	37.230
90	101	60	40.59	82.186	71.157	13.419
120	101	45	55.44	82.186	68.854	16.221





Gambar 4.3 Efisiensi Penurunan BOD dan Fenol pada variasi waktu

Dari Gbr 4.3 di atas menunjukkan bahwa efisiensi penurunan optimal konsentrasi BOD terjadi pada menit ke-120, yakni sebanyak 55,44 %, sedangkan efisiensi fenol penurunan optimalnya terjadi pada menit ke-60, yakni sebanyak 38,41 %. Pada penelitian ini waktu kontak dari inlet aerasi hingga outlet filtrasi relatif sedikit yakni sekitar 2,53 menit, sedikitnya waktu kontak antara aliran inlet yang masuk ke dalam reaktor menyebabkan media-media yang tersusun dalam reaktor tidak dapat secara optimal meremoval polutan-polutan yang terkandung dalam limbah tersebut, sehingga tingkat penurunan BOD dan Fenol juga relatif sedikit.

#### **4.4 Analisa Statistik**

Data hasil penelitian dengan menggunakan reaktor aerokarbonfilter akan dilakukan uji statistik yaitu dengan analisa statistik. Perhitungan analisa statistik dapat dilihat pada lampiran :

##### **4.4.1 Uji ANOVA Terhadap Konsentrasi BOD**

Dari perhitungan analisa statistik maka diperoleh data sebagai berikut :

$$F \text{ hitung} \leq F \text{ tabel}$$

$$2,0453 \leq 3,11$$

Menyimpulkan

$F \text{ hitung} \leq F \text{ tabel}$  maka hipotesis nol dapat diterima. Ini berarti bahwa konsentrasi BOD pada Inlet dengan konsentrasi BOD pada outlet pada tiap-tiap sampling tidak terjadi perbedaan yang signifikan.

##### **4.4.2 Uji ANOVA Terhadap Konsentrasi Fenol**

Dari perhitungan analisa statistik maka diperoleh data sebagai berikut :

$$F \text{ hitung} \geq F \text{ tabel}$$

$$4,26 \geq 3,11$$

Menyimpulkan

$F \text{ hitung} \geq F \text{ tabel}$  maka hipotesis nol ditolak. Ini berarti bahwa konsentrasi Fenol pada Inlet dengan konsentrasi Fenol pada outlet pada tiap-tiap sampling terjadi perbedaan yang signifikan.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Reaktor Aerokarbonfilter mampu menurunkan konsentrasi BOD dan Fenol pada limbah cair rumah sakit. Reaktor Aerokarbonfilter mampu menurunkan konsentrasi BOD dengan efisiensi paling besar terjadi pada menit ke- 120 yakni sebesar 55,45 % yaitu dari konsentrasi awal 101 mg/L menjadi 45 mg/L. Sedangkan untuk Fenol, reaktor Aerokarbonfilter mampu menurunkan hingga 69,25 %, yakni dari konsentrasi awal 82,186 mg/L menjadi 25,264 mg/L. Namun penurunan fenol makin berkurang pada menit-menit berikutnya.
2. Zeolit sebagai adsorban mampu menurunkan konsentrasi BOD dan mencapai titik jenuh setelah 60 menit. Sedangkan untuk parameter fenol zeolit belum mencapai titik jenuh hingga pada menit ke-120 dengan ditandai dengan naiknya kembali tingkat removal.

## 5.2 Saran-saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diajukan saran sebagai berikut:

1. Kurang meratanya aliran air limbah pada aerasi, zeolit, dan filter menyebabkan tidak optimalnya reaktor, untuk itu penelitian selanjutnya perlu dilakukan pemerataan aliran limbah yang masuk ke reaktor.
2. Perlu dilakukan pengujian awal untuk mengetahui kondisi optimal dari zeolit sehingga dapat mengadsorpsi polutan dengan optimal
3. Perlu dilakukan penelitian dengan durasi waktu yang lebih lama, untuk mengetahui titik jenuh zeolit terhadap penyerapan fenol
4. Peneliti selanjutnya diharapkan mengukur konsentrasi pada inlet pada tiap-tiap sampling dan waktu tinggal, sehingga dapat diketahui perubahan konsentrasi pada inlet dan waktu tinggal yang optimal.

## BAB VI

### DAFTAR PUSTAKA

- Al-Layla, M. Anis., dkk, 1977, "Water Supply Engineering Design", Ann Arbor Science Publisher, Inc, Michigan.
- Aprilita, Nurul Hidayat, 2000, "Penanganan Fenol dalam Air Limbah dengan Menggunakan Zeolit Alam sebagai Adsorben, Fakultas MIPA UGM Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.
- Dix, H.M. 1981," Environmental pollution, atmosphere, land, water and noise", John wiley and sons, chichers,P.
- Hasanah, U., dkk,1998, Studi Kelayakan Zeolit Alam di Daerah Blitar Sebagai Adsorben Untuk Alizarin Red", ", Fakultas Mipa Universitas Brawijaya, Surabaya
- Masduqi, A., 2002, "Satuan Operasi untuk mengolahan air", Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS, Surabaya.
- Metcalf & Eddy, 2003, "Wastewater Engineering Teatment ang Reuse" McGraw-Hill, New York.
- Poerwadi, B., 1998, "Pemanfaatan Zeolit Alam Indonesia Sebagai Adsorban Limbah Cair dan Media Fluidisasi Dalam Kolom Fluidisasi", Fakultas Mipa Universitas Brawijaya, Surabaya.
- Reynolds, T.D, 1982, "Unit Operations and Processes in Environmental Engineering", Brooks/Cole Engineering Division, California.
- Sawyer, Clair N, dkk, 2003, "Chemistry for Envirinmental Engineering and Science 5<sup>th</sup> ed", Mc Graw-Hill,

- Suryanto, Dwi, 2003, Biodegradasi Aerobik Hidrokarbon Aromatik Monosiklis Oleh Bakteri, Program Studi Biologi Mipa USU, Sumatera Utara.
- Syamsiah, Siti., dkk, 2001, "Adsorpsi dengan Zeolit dan Bioregenerasi Adsorben untuk Pengolahan Limbah Cair yang Mengandung Fenol", Pusat Penelitian Lingkungan Hidup UGM, Yogyakarta.
- Soemirat, J., (1994), "Kesehatan Lingkungan", Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Sugiharto, 1987, "Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah", Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- Totok, C.S, dkk, 2004, "Teknologi Penyediaan Air Bersih" Rineka Cipta, Jakarta.  
wiley and sons, chichers,P.
- Wardhana,W.A, 2001 , " Dampak Pencemaran Lingkungan", Andi Yogyakarta, Yogyakarta
- [www.pdii.lipi.go.id](http://www.pdii.lipi.go.id)
- [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

# LAMPIRAN

## ANALISA DATA

### 1 Analisa data dengan Metode Anova (*Analisis of Variances*).

#### 1.1 Parameter BOD

##### Langkah 1

Ha : Ada perbedaan yang signifikan antara hasil analisa inlet dan outlet

Ho : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil analisa inlet dan outlet

##### Langkah 2

$A_1 = A_2$

$A_1 \neq A_2$

##### Langkah 3

Masukan data-data uji lab kedalam bentuk tabel seperti di bawah ini :

Media n	Inlet (A <sub>1</sub> )	0' (A <sub>2</sub> )	30' (A <sub>3</sub> )	60' (A <sub>4</sub> )	90' (A <sub>5</sub> )	120' (A <sub>6</sub> )
Aerasi	101	96	70	113	98	98
Zeolit	101	96	8	70	68	88
Pasir	101	72	51	56	60	45
<b>Jumlah</b>	<b>303</b>	<b>264</b>	<b>129</b>	<b>239</b>	<b>226</b>	<b>231</b>

(Lanjutan)

Media n	Inlet (A <sub>1</sub> <sup>2</sup> )	0' (A <sub>2</sub> <sup>2</sup> )	30' (A <sub>3</sub> <sup>2</sup> )	60' (A <sub>4</sub> <sup>2</sup> )	90' (A <sub>5</sub> <sup>2</sup> )	120' (A <sub>6</sub> <sup>2</sup> )
Aerasi	10201	9216	4900	12769	9604	9604
Zeolit	10201	9216	64	4900	4624	7744
Pasir	10201	5184	2601	3136	3600	2025
<b>Jumlah</b>	<b>30603</b>	<b>23616</b>	<b>7565</b>	<b>20805</b>	<b>17828</b>	<b>19373</b>

Dari tabel di atas dapat diambil kesimpulan :

$T A_1 : 303$

$T A_4 : 239$

$k : 6$

$T A_2 : 264$

$T A_5 : 226$

$N : 18$

$T A_3 : 129$

$T A_6 : 231$

$n : 3$

$\Sigma X^2 : 119790$

$G : 1392$

#### Langkah 4

Penentuan Derajat Kebebasan dengan alpha 0.05 :

$$dk SS_t = N - 1$$

$$= 18 - 1$$

$$= 17$$

$$dk SS_b = k - 1$$

$$= 6 - 1$$

$$= 5$$

$$dk SS_w = N - k$$

$$= 18 - 6$$

$$= 12$$

#### Langkah 5

Penentuan F table, dengan alpha 0.05 maka :

$F(5, 12) = 3,11$  (lihat tabel distribusi F pada lampiran)



### Langkah 6

Menentukan nilai F hitung :

$$\begin{aligned}SS_t &= \sum X^2 - \frac{G^2}{N} \\ &= 119790 - \frac{1392^2}{18} = 12142\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SS_b &= \sum \frac{T^2}{n} - \frac{G^2}{N} \\ &= \left( \frac{330^2}{3} + \frac{264^2}{3} + \frac{129^2}{3} + \frac{239^2}{3} + \frac{226^2}{3} + \frac{231^2}{3} \right) - \frac{1392^2}{18} = 5586.667\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}SS_w &= SS_t - SS_b \\ &= 12142 - 5586.667 = 6555.333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MS_b &= \frac{SS_b}{dkSS_b} \\ &= \frac{5586.667}{5} = 1117.332\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}MS_w &= \frac{SS_w}{dkSS_w} \\ &= \frac{6555.333}{12} = 546.277\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F \text{ hitung} &= \frac{MS_b}{MS_w} \\ &= \frac{1117.332}{546.277} = 2.0453\end{aligned}$$

### Langkah 7

Dengan membandingkan antara nilai F table dan nilai F hitung di atas maka, F hitung  $\leq$  F table.

## Langkah 8

Dari langkah 7 di atas maka hipotesis nol dapat diterima. Ini berarti bahwa konsentrasi BOD pada Inlet dengan konsentrasi BOD pada outlet pada tiap-tiap sampling tidak terjadi perbedaan yang signifikan.

## 1.2 Parameter Fenol

### Langkah 1

Ha : Ada perbedaan yang signifikan antara hasil analisa inlet dan outlet

Ho : Tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil analisa inlet dan outlet

### Langkah 2

$A_1 - A_2$

$A_1 \neq A_2$

### Langkah 3

Masukan data-data uji lab kedalam bentuk tabel seperti di bawah ini :

Media n	Inlet (A <sub>1</sub> )	0' (A <sub>2</sub> )	30' (A <sub>3</sub> )	60' (A <sub>4</sub> )	90' (A <sub>5</sub> )	120' (A <sub>6</sub> )
Aerasi	82.186	22.884	64.619	68.325	74.946	64.951
Zeolit	82.186	69.46	58.668	61.889	68.657	78.256
Pasir	82.186	25.26	41.439	51.588	71.157	68.854
<b>Jumlah</b>	<b>246.558</b>	<b>117.604</b>	<b>164.726</b>	<b>181.802</b>	<b>214.76</b>	<b>212.061</b>

(Lanjutan)

Media n	Inlet (A <sup>2</sup> <sub>1</sub> )	0' (A <sup>2</sup> <sub>2</sub> )	30' (A <sup>2</sup> <sub>3</sub> )	60' (A <sup>2</sup> <sub>4</sub> )	90' (A <sup>2</sup> <sub>5</sub> )	120' (A <sup>2</sup> <sub>6</sub> )
Aerasi	6754.539	523.6775	4175.615	4668.306	5616.903	4218.632
Zeolit	6754.539	4824.692	3441.934	3830.248	4713.784	6124.002
Pasir	6754.539	638.0676	1717.191	2661.322	5063.319	4740.873
<b>Jumlah</b>	<b>20263.62</b>	<b>5986.437</b>	<b>9334.74</b>	<b>11159.88</b>	<b>15394.01</b>	<b>15083.51</b>

Dari tabel di atas dapat diambil kesimpulan :

$$T A_1 : 264.558$$

$$T A_4 : 181.802$$

$$k : 6$$

$$T A_2 : 117.608$$

$$T A_5 : 214.76$$

$$N : 18$$

$$T A_3 : 164.726$$

$$T A_6 : 212.76$$

$$n : 3$$

$$\Sigma X^2 : 77222.18$$

$$G : 1137.515$$

#### **Langkah 4**

Ikutin langkah-langkah seperti pada parameter BOD di atas dengan memasukan nilai-nilai yang ada di table pada langkah 3.

Dengan memasukan data-data yang ada pada table langkah di atas maka :

Penentuan Derajat Kebebasan dengan alpha 0.05 :

$$dk SS_t = 17$$

$$dk SS_b = 5$$

$$dk SS_w = 12$$

#### **Langkah 5**

Penentuan F table, dengan alpha 0.05 maka :

$$F(5, 12) = 3,11 \text{ (lihat tabel distribusi F pada lampiran)}$$

#### **Langkah 6**

Menentukan nilai F hitung :

$$SS_t = 5337,1$$

$$SS_b = 3414,894$$

$$SS_w = 1922,215$$

$$MS_b = 682,978$$

$$MS_w = 160,184$$

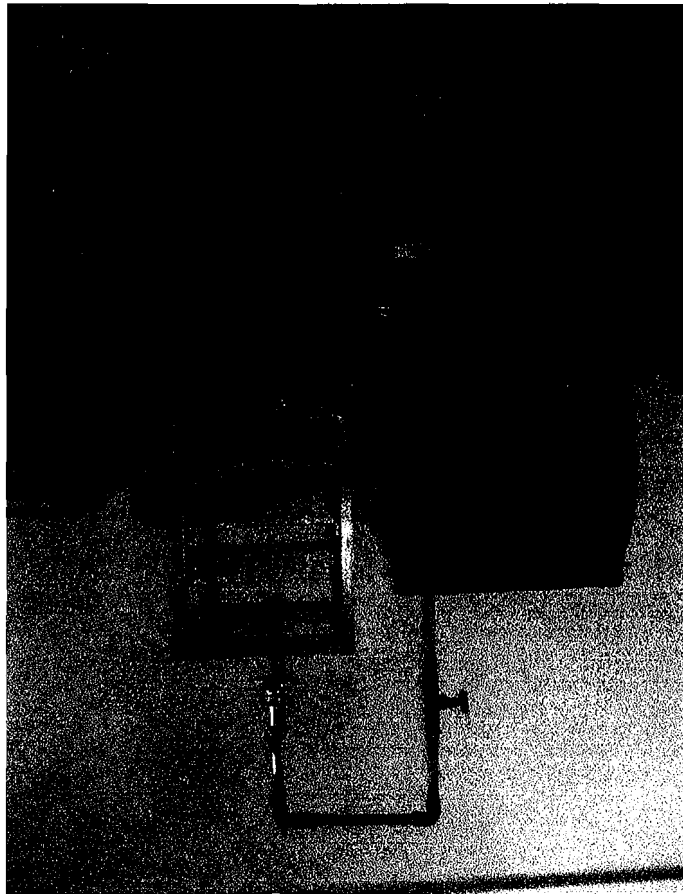
$$F \text{ hitung} = 4,26$$

### **Langkah 7**

Dengan membandingkan antara nilai F table dan nilai F hitung di atas maka,  $F \text{ hitung} \geq F$  table.

### **Langkah 8**

Dari langkah 7 di atas maka hipotesis nol ditolak. Ini berarti bahwa konsentrasi Fenol pada Inlet dengan konsentrasi Fenol pada outlet pada tiap-tiap sampling terjadi perbedaan yang signifikan.



**DOKUMENTASI REAKTOR**

**LAMPIRAN**



PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH  
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN (BPKL)

Jalan Ring Road Utara Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta Telp./Fax. (0274) 489622

HASIL ANALISA AIR

Asal Contoh : Ruslan


Mhs. UII Yogyakarta

Tgl. Terima : 27 Juli 2006

NO.	Sample	Fenol ( mg/L )	Fosfat ( mg/L )
1.	Inlet	82,186	0,866
2.	0' I	22,884	0,947
3.	II	69,460	1,048
4.	III	25,264	0,931
5.	30' I	64,619	0,927
6.	II	58,668	1,015
7.	III	41,439	0,975
8.	60' I	68,325	0,975
9.	II	61,889	0,995
10.	III	51,588	0,958
11.	90' I	74,946	0,949
12.	II	68,657	1,005
13.	III	71,157	0,967
14.	120' I	64,951	0,967
15.	II	78,256	0,981
16.	III	68,854	0,976

Yogyakarta, 29 Juli 2006

Penyelia Pengujian Mutu Air.

  
WAHYU HIDAYAT, BSc



PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA  
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH  
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN (BPKL)  
Jl. Arteri Utara Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta, Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISA LIMBAH CAIR.

Asal contoh :

Mahasiswa UII Yogyakarta.

Tgl.terima : 31 Mei 2006

NO.	Sampel	Konsentrasi :				
		pH	B O D ( mg/L )	C O D ( mg/L )	Phospat ( mg/L )	Fenol ( mg/L )
1.	Inlet	7,10	101	384	0,491	0,0027
2.	I - 0'	7,11	96	200	0,483	0,0018
3.	I - 30'	7,07	70	200	0,495	0,0014
4.	I - 60'	7,04	113	250	0,481	0,0013
5.	I - 90'	7,02	98	200	0,488	0,0003
6.	I - 120'	7,05	98	150	0,465	0,0004
7.	II - 0'	6,99	96	300	0,494	0,0001
8.	II - 30'	6,99	83	200	0,427	tt
9.	II - 60'	6,97	70	150	0,424	tt
10.	II - 90'	6,98	68	100	0,465	tt
11.	II - 120'	7,04	88	100	0,509	0,0011
12.	III - 0'	7,00	72	350	0,450	0,0012
13.	III - 30'	7,02	51	250	0,440	0,0003
14.	III - 60'	7,01	56	225	0,478	tt
15.	III - 90'	7,01	60	200	0,474	0,0026
16.	III - 120'	7,01	45	150	0,473	0,0024

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO	NAMA	NO MHS	PRODI
1	Ruslan	02513013	Teknik Lingkungan
2			

**JUDUL TUGAS AKHIR :** Penurunan BOD dan Fenol pada Limbah Cair Rumah Sakit dengan Menggunakan Reaktor Aerokarbonfilter

**PERIODE : IV**  
**TAHUN : Genap 2005/2006**

No	kegiatan	Bulan Ke ;					
		Mei	Juni	Juli	Agt	Sep	Nov
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar proposal		■	■			
5	Konsultasi Penyusunan TA			■	■	■	
6	Sidang - sidang					■	■
7	Pendadaran						■

DOSEN PEMBIMBIG I : Ir. H. Kasam, MT  
DOSEN PEMBIMBIG II : Eko Siswoyo, ST  
DOSEN PEMBIMBIG III ;

Yogyakarta, 19 Mei 2006  
Koordinator TA



(Eko Siswoyo, ST)

**Catatan**

Seminar .....  
Sidang .....  
Pendadaran .....



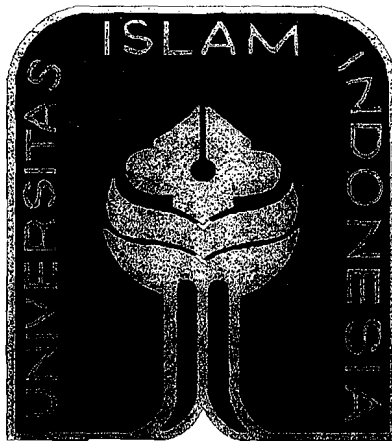
TA / TL / 2007 / 0194

PERPUSTAKAAN FTSP UII	
HADIAN/BELI	
TGL. TERIMA :	30 Mei 2007
NO. JUDUL :	002457
NO. INV. :	R120002457001
NO. INDUK :	

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH SLURRY DAN  
PRODUK PUPUK CAIR SLURRY TERHADAP LAJU  
PERTUMBUHAN TANAMAN SAWI CAISIN**

R.  
GSR-4  
Ran  
P  
A



الجامعة الإسلامية



Disusun Oleh

xiv, 58 Gbl cap 28

Nama : Afandi Rantoliwong  
No. Mhs : 99 513 036

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2007**

- Uth Qul - Uth Qul  
- Suler dery luter Slury  
- Produk Pupuk Cair  
- Media tanam  
- Sawi Caisin  
- Dulu  
- TR

MILIK PERPUSTAKAAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN  
PERENCANAAN UII YOGYAKARTA

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH SLURRY DAN  
PRODUK PUPUK CAIR SLURRY TERHADAP LAJU  
PERTUMBUHAN TANAMAN SAWI CAISIN**

*Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia*

*Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Memperoleh*

*Derajat Sarjana Teknik Lingkungan*

*Disusun Oleh :*

**Nama : Afandi Rantoliwong**

**No. Mhs : 99 513 036**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
JOGJAKARTA  
2007**

*HALAMAN PENGESAHAN*

**TUGAS AKHIR**


**PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH SLURRY DAN PRODUK  
PUPUK CAIR SLURRY TERHADAP LAJU PERTUMBUHAN  
TANAMAN SAWI CAISIN**

Nama : Afandi Rantoliwong  
No. Mahasiswa : 99 513 036  
Program Studi : Teknik Lingkungan

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

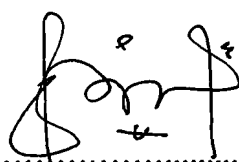
Dosen Pembimbing I

Luqman Hakim, ST, MSi

  
Tanggal: 7/5/2007

Dosen Pembimbing II

Eko Siwoyo, ST

  
Tanggal: 7-5-2007

## KATA PENGANTAR



*Assalamu' alaikum Wr.Wb*

Syukur Alhamdulillah senantiasa kami panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, karunia serta hidayah-Nya. sehingga kami dapat menyelesaikan tugas akhir ini tanpa hambatan yang berarti.

Tugas akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini penyusun telah banyak mendapat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Bapak Prof.Edy Suandi Hamid,MSCE,Ph.D, selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak DR.Ir.H.Ruzardi, MS. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Luqman Hakim, ST, MSi. selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan juga selaku dosen pembimbing.
4. Bapak Eko Siswoyo, ST. selaku dosen pembimbing dalam pengerjaan tugas akhir.

5. Bapak Kasam, Ir, MT. yang begitu sabar membimbing kami dan selalu memberikan semangat terus menerus.
6. Bapak Widodo, Ir, MsC. Selaku dosen teknik lingkungan
7. Bapak Hudori, ST. Selaku dosen teknik lingkungan.
8. Bapak Andik Yulianto, ST, Selaku dosen teknik lingkungan.
9. Ibu Ani dan Ibu Yureana, Selaku dosen teknik lingkungan
10. Dan semua dosen yang telah banyak membantu dalam mata kuliah.
11. Mas Agus, yang selalu membantu jika ada masalah administrasi dan mata kuliah, terimah kasih banyak.
12. Teman-teman sisa-sisa pejuang angkatan '99 tetap semangat, terus berjuang, masih banyak rintangan yang harus kita lalui di masa depan.
13. Untuk Yoga dan Rio terimah kasih ya telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.
14. Teman-teman yang telah banyak membantu yang tidak sempat kami sebutkan satu persatu, terimah kasih banyak, semoga kedepan kita bisa kerjasama dengan baik.
15. Semua pihak maupun instansi yang terkait yang telah banyak memberikan bantuan pada saat penelitian berjalan sampai terselesaikannya tugas akhir ini.
16. Untuk Idam dan Kak Iksan Terimah kasih atas atas komputernya, terimah kasih juga atas ngeprintnya.
17. Matess, ibe, ulu, anjas, dandi, terimah kasih banyak ya

Dalam penyusunan tugas akhir ini disadari masih jauh dari sempurna, untuk itu kritik dan saran dari pembaca akan sangat membantu demi memperlancar pelaksanaan tugas akhir. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penyusun dan bagi siapa saja yang membutuhkan.

***Wabillahitaufiq wal hidayah***

***Wassalaamu'alaikum Wr.Wb***

Yogyakarta, Mei 2007

Penulis

**Afandi Rantoliwong**

*Satu dari perjuangan hidup, terselesaikan.....*

*Segalah puji bagi ALLAH, Tuhan semesta alam*

*Yang telah mengutus Nabi dan Rasul-Nya ke dunia dan terciptalah kehidupan dan akhlak manusia*

*Ku persembahkan karya kecil ini kepada orang-orang yang aku sayangi dan aku cintai yang telah banyak memberikan bantuan, dorongan dan motivasi.....*

*Ayah dan Ibu,*

*Sebagai sujud bakti ananda,....*

*Sungguh ananda berterimah kasih untuk semua yang telah mereka berikan, semua dorongan, semua kesabaran, Cinta, Doa, dan Kasih sayang yang kalian berikan selalu menjadi spirit buat hidupku.....*

*Saudara-saudaraku,*

*Ka'irma dan Yani, terimah kasih atas doa dan semua motivasi yang telah kalian berikan.....*

*Keluarga besar ku,*

*Om muling dan keluarga, papa marni dan keluarga, papa arif dan keluarga, Nenek, dan semua keluarga keluarga besar, terimah kasih atas bantuan dan motivasinya, semoga di hari yang akan datang, saya dapat membalas semua jasa-jasa dan hutang budi yang tidak ternilai harganya.....*

*My Lovely,*

*'Mia' terimah kasih sudah menjadi bagian dari hidupku, selalu sabar menemaniku dalam susah maupun senang, terimah kasih atas kepercayaanmu selama ini, yang selalu mengisi hari-hariku dengan kebahagiaan, semoga kita bisa meraih cita-cita dan masa depan dengan bahagia bersama- sama, Amien.....*

*Sahabat-sahabatku,*

*Idam, rahmat, dandie, anjas, ucham, ibe, ulu, anwar, yoga, rio dan semua teman yang pernah kukenal, terimah kasih atas bantuan dan perhatiannya.....*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
ABSTRAK .....	xiii

### BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3

### BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Unsur Hara Tanaman .....	4
2.2 Pupuk.....	9
2.2.1 Jenis jenis pupuk .....	9
2.3 Slurry.....	13



2.3.1	Pemanfaatan slurry sebagai pupuk.....	14
2.4	Pupuk Organi Cair Slurry.....	15
2.5	Tanaman Sawi Caisin.....	19
2.6	Morfologi Tanaman Petsai dan Sawi .....	20
2.6.1	Penanaman Tanaman Sawi Caisin .....	21
2.6.2	Penanaman dan Pemeliharaan Tanaman Caisin.....	23
2.7	Green House.....	23
2.8	HIPOTESA .....	25

### **BAB III. METODE PENELITIAN**

3.1	Tempat.....	26
3.2	Waktu Penelitian .....	26
3.3	Alat dan Bahan yang digunakan .....	26
3.3.1	Alat yang diperlukan dalam penelitian .....	26
3.3.2	Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	26
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	27
3.4.1	Langkah langkah penelitian .....	27
3.4.2	Cara Kerja .....	28

### **BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Analisa Tanah.....	34
4.2	Analisa Slurry.....	35
4.3	Analisa Pupuk Cair Slurry .....	37
4.4	Pertumbuhan Tanaman Sawi Caisin .....	38

4.4.1 Tinggi Tanaman Sawi Caisin.....	38
4.4.2 Jumlah Daun Tanaman Sawi Caisin .....	42
4.4.3 Lebar Daun Tanaman Sawi Caisin.....	45
4.4.4 Panjang Daun Tanaman Sawi Caisin .....	48
4.5 Berat Basah dan Berat kering.....	51

## **BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	56
5.1 Saran.....	57

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Unsur Hara Tanaman .....	4
Tabel 2.2 Kandungan Unsur Hara Beberapa Jenis Pupuk Kandang.....	12
Tabel 2.3 Komposisi Parameter Slurry .....	13
Tabel 2.4 Ciri-Ciri Kotoran Sapi.....	13
Tabel 2.5 Ciri-Ciri Air Buangan .....	14
Tabel 4.1 Hasil Analisa Tanah.....	35
Tabel 4.2 Hasil Analisa Slurry .....	35
Tabel 4.3 Standar Kebutuhan Unsur Hara Tanaman Sawi Caisin .....	36
Tabel 4.4 Hasil Analisa Pupuk Cair Slurry.....	37
Tabel 4.5 Descriptive Untuk Tinggi Tanaman.....	40
Tabel 4.6 Homogenitas Varians Untuk Nilai Tinggi Tanaman Sawi Caisin .....	41
Tabel 4.7 ANOVA Untuk Nilai Tinggi Tanaman.....	42
Tabel 4.8 Descriptive Untuk Jumlah Daun Tanaman Sawi Caisin.....	44
Tabel 4.9 Homogenitas Varians Untuk Nilai Jumlah Daun Tanaman Caisin.....	44
Tabel 4.10 ANOVA Untuk Nilai Jumlah Daun Tanaman .....	45
Tabel 4.11 Descriptive Untuk Lebar Daun Tanaman Sawi Caisin .....	47
Tabel 4.12 Homogenitas Varians Untuk Nilai Lebar Daun Tanaman Caisin.....	47
Tabel 4.13 ANOVA Untuk Nilai Lebar Daun Tanaman .....	48
Tabel 4.14 Descriptive Untuk Panjang Daun Tanaman Sawi Caisin.....	50
Tabel 4.15 Homogenitas Varians Untuk Nilai Panjang Daun Tanaman Caisin ...	50
Tabel 4.16 ANOVA Untuk Nilai Panjang Daun Tanaman.....	51
Tabel 4.17 Berat Basah Tanaman Sawi Casin .....	52
Tabel 4.18 Berat Kering Tanaman Sawi Casin.....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bahan Slurry Pada Digester Biogas .....	17
Gambar 2.2 Bahan EM4.....	17
Gambar 3.1 Pengenceran Slurry .....	30
Gambar 3.2 Media Tanam Polibeg .....	31
Gambar 3.3 Green House.....	31
Gambar 3.4 Pemupukan Slurry, Za, dan Produk Pupuk Cair .....	33
Gambar 4.1 Rata-Rata Tinggi Tanaman Sawi Caisin .....	39
Gambar 4.2 Jumlah Daun Tanaman Sawi Caisin.....	42
Gambar 4.3 Lebar Daun Tanaman Sawi Caisin.....	46
Gambar 4.4 Panjang Daun Tanaman Sawi Caisin .....	49
Gambar Lampiran 1 Produk Pupuk Cair Slurry.....	1
Gambar Lampiran 2 Slurry Murni .....	1
Gambar Lampiran 3 Tanaman Sawi Caisin Dengan Perlakuan Produk Pupuk Cair Slurry .....	1
Gambar Lampiran 4 Tanaman Sawi Dengan Perlakuan Pupuk Za.....	1
Gambar Lampiran 5 Tanaman Sawi Caisin Dengan Perlakuan Slurry 100%, 75%, 50%, 215% .....	1
Gambar Lampiran 6 Tinggi Sawi Caisin Untuk 6 Variasi Perlakuan.....	1
Gambar Lampiran 7 Analisa Lebar dan Panjang Daun .....	1
Gambar Lampiran 8 Penimbangan Untuk Berat Basah Dan Berat Kering.....	1
Gambar Lampiran 9 Gelas Ukur Untuk Pengenceran Slurry.....	1
Gambar Lampiran 10 Pipet ml Untuk Pengukuran Takaran Dosis Pupuk Cair Slurry.....	1

## **INTISARI**

*Slurry merupakan hasil ekskresi yang dikeluarkan melalui saluran pencernaan sapi yang memiliki kandungan seperti urea, glukosa, N, P, K, yang semuanya merupakan bagian dari unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Sehingga berdasarkan uraian tersebut maka slurry dapat dimanfaatkan sebagai pupuk cair.*

*Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pupuk cair slurry pada pertumbuhan tanaman sawi caisin, selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan pertumbuhan tanaman sawi caisin berdasarkan indikator tinggi tanaman, panjang daun, jumlah daun pada tanaman sawi caisin .*

*Pemupukan tanaman sawi caisin dimulai dari bibit yang telah disemai terlebih dahulu, yang dalam proses pemupukan terdapat 6 variasi perlakuan. Pot 1 – 4 menggunakan slurry dengan pengenceran dimulai dari 100%, 75%, 50%, 25%. Sedangkan pot ke 5 dengan pupuk ZA dan pot ke 6 pupuk cair slurry, dimana pengenceran hanya menggunakan air biasa. Setelah 7 hari pemupukan, tanaman sawi caisin tersebut diukur tinggi, jumlah daun, lebar daun dan tinggi daun dengan cara manual. Disamping melakukan pengukuran, kita juga melakukan pemotretan dan analisis statistik (grafik ANOVA dan data ).*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemupukan dengan pupuk cair slurry menunjukkan adanya peningkatan pertumbuhan jumlah daun, lebar daun, berat basah dan berat kering. Sedangkan untuk slurry yang paling baik dengan pengenceran 75% untuk pertumbuhan tinggi tanaman. Pertumbuhan tanaman sawi caisin sangat dipengaruhi oleh nilai N, P, K yang terkandung didalam pupuk cair slurry maupun slurry murni. Ini dapat dilihat karena semakin banyak kandungan kalium yang terdapat pada pupuk cair maka pertumbuhan tanaman semakin baik. Dan sebaliknya semakin tinggi kandungan nitrogen , maka laju pertumbuhan tanaman sawi caisin akan terganggu bahkan bisa mati.*

*Kata Kunci = Slurry, Pupuk cair ,Tanaman Caisin, Nitrogen, Phospor, Kalium*

## ABSTRACTION

*Slurry is excretion result which spent through ox alimentary canal having content like urea, glucose, N, P, K, all is part is nutrient element of required by plant. So that based on breakdown of the hence slurry can be exploited as fluid fertilizer.*

*This research aim to know influence of fluid fertilizer slurry at mustard caisin growth. Besides this research aim to know comparison of mustard caisin growth based on plant height indicator, long of leaf, amount of leaves at mustards crops caisin .*

*Dressing of mustard caisin is started from plantlet which have been planted beforehand, what is in process of dressing there are 6 various treatment. Pot 1 - 4 using slurry with thinning is started out of 100%, 75%, 50%, 25%. While pot 5 with ZA fertilize and pot 6 fluid fertilizer slurry, where thinning only using branch water. After 7 day dressing, the mustard caisin measured by height, amount of leaves, wide of leaf and high of leaf by the way of manual. Beside do gauging, we also do statistical analysis and photograph ( graphic ANOVA and data ).*

*Research result indicate that dressing with fluid fertilizer slurry show existence of increasing of growth of amount of leaves, wide of leaf, wet weight and dry weight. While for best slurry with thinning of 75% for growth of plant height. Plant Growth of mustard caisin hardly influenced by value N, P, K consisting in fluid fertilizer slurry and also pure slurry. This is visible because more and more contents of potassium found on fluid fertilizer hence plant growth progressively good. And conversely nitrogen content excelsior, hence mustard caisin growth rate will annoyed even can die.*

*Keyword = Slurry, fluid fertilizer, Caisin Plant, Nitrogen, Phospor, Potassium*

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Pada masa berkembang seperti sekarang ini produksi tanaman pangan mengalami peningkatan yang sangat tinggi. Salah satu faktor dari hal ini adalah laju pertumbuhan penduduk yang semakin pesat dari waktu ke waktu. Tekanan penduduk yang semakin meningkat serta luas lahan yang semakin sempit akibat dari pembangunan besar-besaran terjadi dimana-mana mengakibatkan penggunaan pupuk dan pestisida sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan produksi tanaman agar menghasilkan suatu produk tanaman yang berkualitas.

Penggunaan pupuk buatan dalam jangka panjang secara terus menerus dan tidak terkontrol, akan berdampak buruk pada kesuburan tanah dan lingkungan disekitar wilayah pertanian. Struktur tanah akan rusak dan beberapa jenis pupuk dapat menyebabkan penurunan pH. Kerugian lainnya adalah keseimbangan organisme di dalam tanah akan terganggu dan kualitas air permukaan, seperti air sungai di daerah pertanian akan menjadi tercemar.

Tanah mengandung berbagai unsur hara yang diperlukan oleh tanaman. Kandungan unsur hara pada tanah semakin lama semakin berkurang karena terserap oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhan hidupnya (Sutardjo, 1991). Jika kekurangan ini berlangsung terus menerus maka tanaman bisa menderita kekurangan unsur hara sehingga pertumbuhan dan produktifitasnya terganggu (Sukardjo 1991 ; Sarwon 1996).

Dewasa ini energi semakin mahal dan sukar, demikian pula halnya dengan pupuk. Penggunaan pupuk kimia secara terus menerus dapat menimbulkan kerusakan lingkungan. Dalam jangka waktu yang lama penggunaan pupuk kimia menyebabkan produktifitas tanah menurun (Barjo, 1992).

Slurry merupakan hasil ekskresi yang dikeluarkan melalui saluran pencernaan sapi yang memiliki kandungan seperti urea, glukosa, N, P, K yang semuanya merupakan bagian dari unsur hara yang dibutuhkan oleh tanaman.

Untuk itu diperlukan penanganan lebih lanjut yakni melalui pendekatan teknologi sanitasi ekologi sehingga slurry dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan pupuk organik cair.

Peran penting sayuran sebagai salah satu bahan pangan adalah kandungan vitamin dan mineralnya, disamping sumber protein dan kalori. Sawi caisin merupakan sumber gizi bagi keluarga. Berdasarkan data tersebut maka dalam proses penelitian, digunakan tanaman sawi caisin sebagai media pemupukan.

## **1.2 Rumusan masalah**

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan maka permasalahan yang akan di angkat, yakni :

- 1) Bagaimana perbandingan pertumbuhan tanaman sawi caisin yang di beri pupuk cair slurry, pupuk ZA, dan slurry 100%, 75%, 50%, 25%..
- 2) Bagaimana perbandingan pertumbuhan tanaman sawi caisin berdasarkan indikator tinggi tanaman, panjang, jumlah daun dan lebar daun, serta masa panen sawi tanaman caisin.
- 3) Bagaimana pengaruh pupuk organik cair slurry pada pertumbuhan tanaman sawi caisin.

## **1.3 Tujuan**

Berdasarkan rumusan masalah yang diangkat maka penelitian ini bertujuan untuk:

- 1) Untuk mengetahui perbandingan pertumbuhan tanaman sawi caisin yang diberi pupuk cair slurry , pupuk ZA, dan slurry 100%, 75%, 50%, 25%.
- 2) Untuk mengetahui perbandingan pertumbuhan tanaman sawi caisin berdasarkan indikator tinggi tanaman, panjang, jumlah daun dan lebar daun, serta masa panen tanaman sawi caisin.
- 3) Untuk mengetahui pengaruh pupuk cair slurry pada pertumbuhan tanaman sawi caisin.



#### **1.4 Manfaat penelitian**

Adapun manfaat penelitian ini ialah dapat memberikan informasi bagi masyarakat bahwa dengan pemanfaatan slurry sebagai hasil eksresi sapi dapat di manfaatkan kembali sebagai pupuk organik cair. Dan sebagai tambahan nutrisi bagi pertumbuhan tanaman sawi caisin.

#### **1.5 Batasan masalah**

Terdapat beberapa batasan masalah dalam melaksanakan penelitian tugas akhir ini yaitu :

1. Mengetahui bagaimana kondisi pertumbuhan dari tanaman sawi caisin.
2. slurry yang digunakan merupakan sisa biogas dari kotoran sapi.
3. Media tanahnya menggunakan tanah biasa
4. Penanaman dilakukan dimulai dari bibit
5. Tanaman sawi caisin
6. Variasi tanaman menggunakan slurry 100%, 75%, 50%, 25%.
7. Pupuk pembanding menggunakan pupuk ZA
8. Penyiraman dilakukan setiap 2-3 hari sekali.
9. Media tanaman menggunakan polibeg.
10. Masa penelitian 30 hari (mulai dari benih sampai tanaman siap panen).

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Unsur Hara Tanaman

Salah satu proses terpenting yang terjadi di alam adalah fotosintesis. Dalam proses ini, karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) di dalam sel klorofil bereaksi dengan bantuan radiasi matahari untuk memproduksi gula. Gula yang terbentuk dapat digunakan oleh tanaman untuk memproduksi energi melalui proses respirasi (pernapasan).

Tanaman menyerap berbagai jenis unsur hara dalam bentuk ion positif dan ion negatif yang terlarut di dalam larutan tanah. Bentuk-bentuk ion tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Unsur hara kation dan anion yang diserap oleh tanaman.

Jenis Unsur Hara	Simbol	Bentuk yang diserap oleh tanaman	
		Kation (+)	Anion (-)
Nitrogen	N	$\text{NH}_4$	$\text{NO}_3^-$
Phospor	P	-	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$
Kalium	K	$\text{K}^+$	$\text{NO}_3^-$
Kalsium	Ca	$\text{Ca}^{2+}$	-
Magnesium	Mg	$\text{Mg}^{2+}$	-
Sulfur	S	-	$\text{SO}_4^{2-}$
Mangan	Mn	$\text{Mn}^{2+}$	-
Boron	B	-	$\text{BO}_3^{2-}$
Molibdenum	Mo	-	$\text{MoO}_4^{2-}$
Tembaga	Cu	$\text{Cu}^{2+}$ atau $\text{Cu}^{3+}$	-
Seng	Zn	$\text{Zn}^{2+}$	-
Besi	Fe	$\text{Fe}^{2+}$ atau $\text{Fe}^{3+}$	-

Sumber : data sekunder, Ir Novizan, 2005

Dengan mengetahui bentuk-bentuk ion tersebut akan terbuka gambaran mekanisme setiap unsur hara yang dapat terikat pada koloid tanah yang bermuatan negatif dan mekanisme unsur hara yang diserap tanaman, tercuci oleh aliran air, atau terikat oleh ion lain yang bermuatan berlawanan dan membentuk senyawa yang mengendap dalam air. Bagian yang mengendap tersebut tidak dapat digunakan oleh tanaman.

Unsur hara yang tersedia tersebut dapat diserap oleh tanaman dan berpengaruh terhadap produksi tanaman. Macam dan jumlah unsur hara dalam tanah harus cukup seimbang untuk dapat mendukung pertumbuhan dan meningkatkan produksi tanaman (Syarief,1986).

Unsur hara tergolong esensial bagi tanaman, bila memenuhi beberapa kriteria (Graham,1975) yaitu :

1. Apabila unsur tersebut dihilangkan, pertumbuhan tanaman akan terhambat
2. Apabila unsur tersebut disuplai kembali, pertumbuhan tanaman akan kembali proporsional
3. Tidak adanya suplai unsur hara, mengakibatkan siklus hidupnya tidak sempurna.

Unsur hara dapat diserap oleh tanaman setelah melalui tiga mekanisme sebagai berikut :

1. Unsur hara dapat diserap langsung oleh akar bersama dengan penyerapan air dari larutan tanah. Karena itu, sangat penting untuk menjaga keseimbangan unsur hara di dalamnya, misalnya mempertahankan pH pada posisi netral.
2. Unsur hara memasuki membran sel akar mengikuti hukum difusi, tanpa mengikutsetakan air. Jika konsentrasi ion terlarut di dalam larutan tanah lebih tinggi dari pada di dalam sel akar, ion dari larutan tanah akan bergerak ke dalam sel akar.
3. Mekanisme penyerapan yang ketiga berlangsung lebih rumit, yang dikenal dengan proses pertukaran ion. Mekanisme ini terjadi karena pernapasan akar menghasilkan  $CO_2$  yang bergabung dengan air di dalam tanah lalu membentuk

asam karbonat ( $H_2CO_3$ ). Selanjutnya  $H_2CO_3$  tersebut terurai membentuk  $H^+$  dan  $HCO_3^-$ .

Unsur hara yang diserap oleh tanaman berasal dari 3 sumber sebagai berikut :

1. Bahan organik. Sebagian besar unsur hara terkandung di dalam bahan organik. Sebagian dapat langsung digunakan oleh tanaman, sebagian lagi tersimpan untuk jangka waktu yang lama. Bahan organik harus mengalami proses dekomposisi (pelapukan) terlebih dahulu sebelum tersedia bagi tanaman.
2. Mineral alami. Setiap jenis batuan mineral yang membentuk tanah mengandung bermacam-macam unsur hara. Mineral alami ini berubah menjadi unsur hara yang tersedia bagi tanaman setelah mengalami penghancuran oleh cuaca.
3. Unsur hara yang terjerat atau terikat. Unsur hara ini terikat di permukaan atau diantara lapisan koloid tanah dan sebagai sumber utama dari unsur hara yang dapat diatur oleh manusia. Unsur hara yang terikat ini biasanya tidak dapat digunakan oleh tanaman, karena pH-nya terlalu ekstrem atau terdapat ketidakseimbangan jumlah unsur hara. Lewat pengaturan pH tanah, unsur hara ini dapat diubah menjadi unsur hara yang tersedia bagi tanaman.

Berikut ini merupakan unsur hara yang tergolong penting bagi tanaman yaitu :

#### 1. Nitrogen (N)

Nitrogen diserap oleh tanaman dalam bentuk ion nitrat ( $NO_3^-$ ) dan ion ammonium ( $NH_4^+$ ). Sebagian besar nitrogen diserap dalam bentuk ion nitrat karena ion tersebut bermuatan negatif sehingga selalu berada di dalam larutan tanah dan mudah terserap oleh akar.

Nitrogen tidak tersedia dalam bentuk mineral alami seperti unsur hara lainnya. Sumber nitrogen yang terbesar berupa udara yang sampai ke tanah melalui air hujan atau udara yang diikat oleh bakteri pengikat nitrogen.

## 2. Phospor (P)

Phospor diserap tanah dalam bentuk  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{2-}$ , atau tergantung dari nilai pH tanah. Phospor sebagian besar berasal dari pelapukan bahan organik. Walaupun sumber phospor di dalam tanah mineral cukup banyak tanaman masih bisa mengalami kekurangan phospor. Pasalnya, sebagian besar phospor terikat secara kimia oleh unsur lain sehingga menjadi senyawa yang sukar larut di dalam air. Ketersediaan phospor di dalam tanah ditentukan oleh banyak faktor, tetapi yang paling penting adalah pH.

Selain faktor pH, faktor lain yang menentukan pasokan phospor pada tanah adalah sebagai berikut:

- a. Aerasi, ketersediaan oksigen di dalam tanah (aerasi) diperlukan untuk meningkatkan pasokan phospor lewat proses perombakan bahan organik oleh mikroorganisme tanah.
- b. Temperatur, secara langsung temperatur dapat meningkatkan atau menurunkan ketersediaan phospor. Pada relatif hangat, ketersediaan phospor akan meningkat karena proses perombakan bahan organik juga meningkat. Ketersediaan phospor menipis di daerah yang bersuhu rendah. Ketersediaan phospor menipis di daerah yang bersuhu rendah.
- c. Bahan organik, sebagian besar phospor yang mudah larut diambil oleh mikroorganisme tanah untuk pertumbuhannya.
- d. Unsur hara lain, tercukupinya jumlah unsur hara lain dapat meningkatkan penyerapan phospor.

Jika terjadi kekurangan phospor, tanaman menunjukkan gejala pertumbuhan sebagai berikut:

- a. Lambat dan kerdil
- b. Perkembangan akar terhambat
- c. Gejala pada daun sangat beragam, beberapa tanaman menunjukkan warna hijau tua mengkilap yang tidak normal
- d. Pematangan buah terhambat
- e. Perkembangan bentuk dan warna buah buruk
- f. Biji berkembang tidak normal.

### 3. Kalium (K)

Kalium diserap oleh tanaman dalam bentuk ion  $K^+$ . Persediaan kalium di dalam tanah dapat berkurang karena tiga hal, yaitu pengambilan kalium oleh tanaman, pencucian kalium oleh air, dan erosi tanah. Biasanya tanaman menyerap kalium lebih banyak daripada unsur hara lain, kecuali nitrogen. Secara umum peran kalium berhubungan dengan proses metabolisme, seperti fotosintesis dan respirasi. Beberapa peran kalium yang perlu diketahui sebagai berikut :

- a. Translokasi (pemindahan) gula pada pembentukan pati dan protein
- b. Membantu proses membuka dan menutup sbayama (mulut daun)
- c. Efisiensi penggunaan air
- d. Memperluas pertumbuhan akar
- f. Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit
- g. Memperkuat tubuh tanaman supaya daun, bunga, dan buah tidak gampang rontok
- h. Memperbaiki ukuran dan kualitas buah pada masa generatif, menambah rasa manis pada buah
- i. Dibutuhkan oleh tanaman buah dan sayuran yang memproduksi karbohidrat dalam jumlah banyak, misalnya kentang
- j. Daun terlihat lebih tua
- k. Batang dan cabang lemah dan mudah rebah
- l. Muncul warna kuning di pinggir dan diujung daun yang sudah tua, yang akhirnya mengering dan rontok
- m. Daun mengerut (keriting) dimulai dari daun tua
- n. Kematangan buah terlambat, ukuran buah menjadi lebih kecil, buah mudah rontok, warna buah tidak merata, dan tidak tahan disimpan lama.
- o. Biji buah menjadi kisut

## **2.2 Pupuk**

Pupuk dalam arti luas termasuk semua bahan yang ditambahkan ke dalam tanah untuk menyediakan unsur yang esensial bagi pertumbuhan tanaman. Pupuk tidak berisi unsur-unsur hara tanaman dalam bentuk unsur seperti nitrogen, fosfor, kalium, tetapi unsur tersebut ada dalam bentuk campuran yang memberikan bentuk-bentuk ion dari unsur hara yang dapat di absorpsi tanaman (Foth, 1975).

Pupuk digolongkan menjadi dua, yakni pupuk organik dan pupuk anorganik. Pupuk organik adalah pupuk yang terbuat dari sisa-sisa makhluk hidup yang diolah melalui proses pembusukan (dekomposisi) oleh bakteri pengurai. Contohnya adalah pupuk kompos dan pupuk kandang. Pupuk kompos berasal dari sisa-sisa tanaman, dan pupuk kandang berasal dari kotoran ternak. Pupuk organik mempunyai komposisi kandungan unsur hara yang lengkap, tetapi jumlah tiap jenis unsur hara tersebut rendah. Sesuai dengan namanya, kandungan bahan organik pupuk ini termasuk tinggi.

Pupuk anorganik atau pupuk buatan adalah jenis pupuk yang dibuat oleh pabrik dengan cara meramu berbagai bahan kimia sehingga memiliki persentase kandungan hara yang tinggi. Contoh pupuk anorganik adalah urea, TSP, dan gandasil.

### **2.2.1 jenis-jenis pupuk**

#### **1. pupuk majemuk**

Pemakaian pupuk majemuk saat ini sudah sangat luas. berbagai merek, kualitas, dan analisis telah tersedia di pasaran. Kendati harganya sangat relatif lebih mahal, pupuk majemuk tetap dipilih karena kandungan haranya lebih lengkap. Efisiensi pemakaian tenaga kerja pada aplikasi pupuk majemuk juga lebih tinggi daripada aplikasi pada pupuk tunggal yang harus diberikan dengan cara dicampur.

Pupuk majemuk berkualitas prima memiliki besar butiran yang seragam dan tidak terlalu higroskopis, sehingga tahan disimpan dan tidak cepat

menggumpal. Hampir semua pupuk majemuk bereaksi asam, kecuali yang telah mendapatkan perlakuan khusus, seperti penambahan Ca dan Mg.

Variasi analisis pupuk majemuk sangat banyak. Meskipun demikian, perbedaan variasinya bisa jadi sangat kecil, misalnya antara NPK 15, 15, 15 dan NPK 16, 16, 16. Berikut ini gambaran fungsi beberapa jenis analisis pupuk majemuk.

Variasi analisis pupuk, seperti 15, 15, 15, 16, 16, 16, dan 20, 20, 20 menunjukkan ketersediaan unsur hara yang seimbang. Fungsi pupuk majemuk dengan variasi analisis seperti ini antara lain untuk mempercepat perkembangan bibit ; sebagai pupuk pada awal penanaman dan sebagai pupuk susulan saat tanaman memasuki fase generatif, seperti saat mulai berbunga atau berbuah.

Dalam memilih pupuk majemuk perlu dipertimbangkan beberapa faktor, antara lain kandungan unsur hara yang tinggi, kandungan unsur hara mikro, kualitas pupuk, dan harga perkilogramnya.

## **2. Pupuk Daun**

Daun memiliki mulut yang dikenal dengan nama sbayama. Sebagian besar sbayama terletak dibawah bagian daun. Mulut daun ini berfungsi untuk mengatur penguapan air dari tanaman sehingga aliran air dari akar dapat sampai ke daun. Saat suhu udara terlalu panas, sbayama akan menutup sehingga tanaman tidak mengalami kekeringan. Sebaiknya, jika udara tidak terlalu panas, sbayama akan membuka sehingga air yang ada dipermukaan daun yang dapat masuk ke dalam jaringan daun. Dengan sendirinya, unsur hara yang disemprotkan ke permukaan daun juga masuk ke dalam jaringan daun.

Pupuk daun berbentuk serbuk dan cair. Kualitasnya dianggap baik jika mudah larut di dalam air tanpa menyisakan endapan. Karena mudah larut di dalam air, sifat pupuk daun menjadi sangat higroskopis. Akibatnya tidak dapat disimpan terlalu lama jika kemasannya telah dibuka.

Keuntungan menggunakan pupuk daun antara lain respon terhadap tanaman sangat cepat karena langsung dimanfaatkan oleh tanaman. Selain ini,



tidak menimbulkan kerusakan sedikit pun pada tanaman, dengan catatan aplikasinya dilakukan secara benar.

Penyemprotan pupuk daun idealnya dilakukan pada pagi atau sore hari karena bertepatan dengan saat membukanya sbayama. Prioritaskan penyemprotan pada bagian bawah daun karena paling banyak terdapat sbayama. Faktor cuaca termasuk kunci sukses dalam penyemprotan pupuk daun. Dua jam setelah penyemprotan jangan sampai terkena hujan karena akan mengurangi efektivitas penyerapan pupuk. Tidak disarankan menyemprot pupuk daun pada saat suhu udara sedang panas karena konsentrasi larutan pupuk yang sampai ke daun cepat meningkat sehingga daun dapat terbakar.

### **3. Pupuk Organik**

Kandungan unsur hara yang terdapat didalam pupuk organik jauh lebih kecil dari pada pupuk buatan. Dalam penggunaannya pupuk organik jauh lebih sulit, karena pupuk organik dibutuhkan dalam jumlah yang lebih besar, dan tenaga kerja yang dibutuhkan juga lebih banyak. Berikut ini beberapa manfaat dari pupuk organik :

- a. Meskipun dalam jumlah yang jauh lebih kecil, pupuk organik mampu menyediakan unsur hara makro dan mikro
- b. Memperbaiki granulasi tanah berpasir dan tanah padat sehingga dapat meningkatkan kualitas aerasi, memperbaiki drainase tanah, dan meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan air.
- c. Kandungan asam humat (humus) yng mampu meningkatkan kapasitas tukar kation tanah
- d. Penambahan pupuk organik dapat meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah
- e. Pada tanah asam, penambahan pupuk organik dapat membantu meningkatkan pH tanah
- f. Penggunaan pupuk organik tidak menyebabkan polusi tanah dan polusi air.

Jenis-jenis pupuk organik yang banyak dikenal sebagai berikut :

a. Kompos

Kompos adalah hasil pembusukan sisa-sisa tanaman yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme pengurai. Kualitas kompos sangat ditentukan oleh besarnya antar jumlah karbon dan nitrogen (C / N rasio). Jika C / N rasio tinggi, berarti bahan penyusun kompos belum terurai secara sempurna.

Kandungan unsur hara pada kompos sangat bervariasi. Tergantung dari jenis bahan asal yang digunakan dan cara pembuatan kompos. Kandungan unsur hara kompos sebagai berikut :

- Nitrogen 0,1–0,6 %
- Fosfor 0,1–0,4 %
- Kalium 0,8–1,5 %
- Kalsium 0,8–1,5 %

b. Pupuk kandang

Pupuk kandang adalah pupuk organik yang berasal dari kotoran ternak. Kualitas pupuk kandang sangat tergantung pada jenis ternak, kualitas pakan ternak, dan cara penampungan pupuk kandang. Pada tabel 2 menunjukkan unsur hara beberapa jenis pupuk kandang

Tabel 2. Kandungan Unsur Hara Beberapa Jenis Pupuk Kandang

Jenis Ternak	N (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Ayam	1,7	1,9	1,5
Sapi	0,3	0,2	0,3
Kuda	0,4	0,2	0,3
Domba	0,6	0,3	0,2

Sumber : Data sekunder, Hardjowigeno, 1995

### 2.3 Slurry

Slurry adalah sisa buangan dari proses digester biogas berupa limbah cair. Pengolahan sisa air buangan (*solid handling*) dengan kuantiti air yang digunakan adalah minimum. Objektif utamanya adalah untuk menstabilkan sisa air buangan (*solid handling*) supaya dapat digunakan sebagai pupuk organik tanpa risiko kesehatan/penyakit.

Apabila air buangan atau "*slurry*" telah terbentuk kerana pencairan, maka cara pengolahan air pula diperlukan untuk mengurangi potensi pencemaran.

Perkiraan komposisi parameter slurry dari hasil biogas.

Tabel 3. komposisi parameter slurry.

Parameter	kandungan
Suhu, Celsius	40
PH	6.0-9.0
BOD (Permintaan oksigen biokimia)	50 mg/L
Suspended solids	100 mg/L
Oil and grease	10 mg/L
COD (Permintaan oksigen kimia)	50 mg/l.

- **Ciri-Ciri Kotoran Sapi.**

Kandungan kotoran sapi bergantung kepada kandungan bahan makanan yang telah diberi. Walau bagaimanapun, pada umumnya ciri-ciri kotoran sapi adalah seperti ditunjukkan dalam tabel 4 menunjukkan ciri-ciri kotoran sapi .

Total solids, %	3-6
Total volatile solids, % TS	80-90
Total Kjeldahl nitrogen, %	2-4
Cellulose, %	15-20
Lignin, %	5-10
Hemicellulose, %	20-25

- **Ciri-Ciri Air Buangan**

Air buangan terbentuk daripada air kencing dan kotoran sapi dari kandang.

Setengah bahan terlarut dalam air dan apa yang dikeluarkan yaitu "*slurry*".

Tabel 5 menunjukkan ciri-ciri air buangan yang biasa dihasilkan oleh ternakan sapi.

Tabel 5 menunjukkan ciri-ciri air buangan.

Total solids, %	3-6
BOD, mg/L	5000-9000
COD, mg/L	3000-6000
Total Kjeldahl nitrogen, mg/L	2000-3000
Ammoniacal nitrogen, mg/L	500

### 2.3.1 Pemanfaatan Slurry Sebagai Pupuk

Di ladang ternakan yang mempunyai sistem untuk mengumpulkan kotoran, pembuatan kompos dapat dilakukan sebagai satu cara untuk mencegah pencemaran.

Proses kompos melibatkan aktivitas mengurai bahan organik secara aerobik dan anaerobik sehingga terdapat humus yang agak stabil. Suhu kompos yang tinggi akan memusnahkan organisme patogen, benih rumput dan juga larva serangga.

Kompos merupakan sumber hara tanaman yang tahan lama. Penguraian yang berlaku dalam proses pembentukan kompos memudahkan tanaman menyerap nutrien yang telah ditingkatkan. Nutrien akan diserap ke dalam akar tumbuhan secara perlahan jika dibandingkan dengan unsur kimia yang mudah larut.

Di samping itu, unsur kompos juga dapat memperbaiki keadaan tanah yang berpasir atau tanah liat bagi memberi pengudaraan kepada akar tanaman. Satu cara yang mudah untuk membuat kompos dari kotoran ialah dengan mengumpulkan kotoran dalam satu wadah berukuran 1.5 m tinggi, 2m lebar dan,

2 m panjang. Proses pembentukan kompos dipengaruhi oleh beberapa faktor utama termasuk kandungan kelembapan, pengudaraan dan karbon nitrogen. Kandungan kelembapan yang sesuai untuk pembuatan kompos ialah antara 40% dan 60%. Jika bahan mentah terlalu kering, air boleh disiram. Jika terlalu basah pula, keadaan anaerobik akan terjadi.

Untuk mengetahui kandungan kelembapan mencukupi atau tidak ialah dengan meremaskan bahan tersebut dengan tangan. Jika bahan kompos melekat pada tangan, kandungan lembapan dapat dikatakan terlalu tinggi. Pengudaraan diperlukan untuk membekalkan oksigen bagi mikroorganisma aerobik. Pengudaraan dapat dilakukan dengan membalikkan kompos tersebut.

## **2.4 Pupuk Organik Cair Slurry**

### **2.4.1 Umum**

Pembuatan pupuk organik cair dilakukan selama 20 hari yang meliputi pengukuran rasio C/N, N, P dan K, dilakukan pada hari ke-0, hari ke-1, hari ke-10 dan hari ke-20, sedangkan untuk pengukuran suhu dan pH dilakukan setiap hari (pagi dan sore) sampai hari ke-20 untuk setiap reaktor. Pengamatan unsur makro yang terkandung dalam bahan seperti N, P dan K dilakukan untuk mengetahui nilai dalam proses fermentasi selama 20 hari, sedangkan unsur pendukung seperti pemeriksaan suhu dan pH dilakukan untuk mengetahui proses fermentasi, hubungan rasio C/N dan parameter pendukung tiap reaktor. Hasil penelitian ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

### **2.4.2 Pembuatan Pupuk Organik Cair**

Pembuatan pupuk organik cair meliputi persiapan reaktor dan persiapan bahan, yang diuraikan seperti di bawah ini.

#### 2.4.2.1. Persiapan Reaktor

Reaktor yang digunakan untuk pengomposan adalah ember plastik dengan diameter atas 35 cm, diameter bawah 25 cm dan tinggi 45 cm. Selama proses fermentasi reaktor ditutup agar tetap terjadi proses anaerob di dalam reaktor.

Reaktor fermentasi sebaiknya tidak terbuat dari logam. Bahan yang paling baik untuk reaktor fermentasi adalah tembok atau plastik yang tahan terhadap kondisi asam. Alasannya sebagai berikut:

1. Plastik mudah menyerap panas sehingga mudah mencapai suhu optimal dengan meletakkan tempat fermentasi di daerah yang terkena matahari langsung, maka dapat menaikkan suhu sehingga gas metan yang dihasilkan semakin tinggi dan proses pembusukan berjalan lebih cepat. Dengan demikian, gas metan perlu dikeluarkan setiap hari, yaitu dengan membuka lubang gas.
2. Plastik tidak mengandung logam berat sehingga relatif aman. Apabila menggunakan tong metal atau sejenis metal lainnya, dikhawatirkan zat asam akan bereaksi dengan logam sehingga proses fermentasi akan tercemari. (Yuwono, 2005).

#### 2.4.2.2 Persiapan Bahan

Pada percobaan dilakukan pencampuran bahan yaitu *slurry* dari limbah *digester biogas* dan kotoran sapi untuk memperoleh rasio C/N yang optimum dan juga di tambahkan EM4 untuk mempercepat proses fermentasi. Lokasi pengambilan *slurry* ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



**Gambar 2.1. Bahan slurry pada digester biogas**

Slurry yang digunakan pada proses fermentasi ini menggunakan slurry yang keluar dari outlet *slurry* di *Digester Biogas* Dusun Kali Adem, Kecamatan Cangkringan, Jogjakarta. Sedangkan kotoran sapi yang digunakan adalah kotoran sapi yang diambil dari kandang perternakan sapi perah. Proses fermentasi pembuatan pupuk organik cair dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.2. Bahan EM4**

### 2.4.2.3. Pengoperasian Reaktor

Percobaan dilakukan dengan variasi untuk masing-masing reaktor adalah sebagai berikut:

Reaktor 1 = *slurry* : kotoran sapi = 70 : 30

Reaktor 2 = *slurry* : kotoran sapi = 80 : 20

Reaktor 3 = *slurry* : kotoran sapi = 90 : 10

Tiap reaktor memiliki volume total 5 liter dengan persentase pembagian bahan seperti telah dicantumkan di atas.

### 2.4.2.4. Pengukuran Parameter dan Analisa Hasil

Analisa hasil untuk mengetahui kualitas kompos yang dihasilkan terutama N, P dan K adalah :

#### 1. Suhu

Dilakukan dengan metode termometer, dilakukan 2 kali sehari (pagi dan sore).

#### 2. pH

Dilakukan dengan menggunakan pH meter setiap 2 kali sehari (pagi dan sore).

#### 3. Rasio C/N

Dilakukan pada hari ke-0, ke-1, ke-10 dan ke-20

#### 4. Kualitas akhir pupuk organik

Setelah terjadi pematangan, dilakukan pengujian unsur makro N, P, dan K yang dilakukan pada hari ke-0, ke-1, ke-10 dan ke-20.



## 2.5 Tanaman Sawi Caisin

Caisin yang dikenal dengan nama sawi. Banyak dipromosikan sebagai sayuran daun sumber gizi bagi penduduk di negara berkembang. Tanaman sawi caisin kini dikenal diseluruh penjuru dunia, menurut penelusuran dari berbagai literatur dan nara sumber lainnya, diduga berasal dari tiongkok (cina), tanaman ini telah di budidayakan sejak 2.500 tahun yang lalu, kemudian menyebar luas ke Filipina dan Taiwan.

Menurut klasifikasi dalam tanaman (sistematika) tumbuhan, termasuk ke dalam :

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Kelas	: <i>Angiospermae</i>
Sub Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Ordo	: <i>Papavorales</i>
Famili	: <i>Cruciferae</i> atau <i>Brassicaceae</i>
Genus	: <i>Brassica</i>
Spesies	: <i>Brassica chinensis</i> L atau <i>B.campestris var.chinensis</i> L. dan <i>B.juncea</i> L (sawi)

Pada dasarnya petsai atau kubis cina atau sawi yang umumnya dibididayakan terdapat dua jenis, yaitu :

- a. Petsai atau Petsai-sin (*Brassica pekinensis* L.). Ciri ciri petsai jenis ini adalah: daun-daunnya kasar, berkerut-kerut, mudah rapuh, berbuluh tajam sampai halus, dan membentuk krop bulat, bulat memanjang atau variasi bentuk lainnya yang umumnya padat (kompak).
- b. Pak Choi atau Toi-sin atau Caisin (*B.chinensis* L) atau disebut juga petsai bunga. Ciri-ciri petsai jenis ini adalah: daun-daunnya halus (tidak berbulu) dan tidak mampu membentuk krop (telur). Meskipun ada beberapa varietas pak Choi berkrop, tetapi kropnya tidak padat.

Sedangkan di Indonesia sendiri dikenal ada tiga jenis sawi yang dibudidayakan, yaitu:

- a. Sawi putih atau sawi jabung (*B.juncea* L.var. *rugosa* Roxb. dan Prain). Jenis ini memiliki ciri-ciri: batangnya pendek, tegap dan daun-daunnya lebar berwarna hijau tua, tangkai daun panjang dan bersayap melengkung ke bawah.

- b. Sawi hijau yang memiliki ciri-ciri batangnya pendek, dan daun-daunnya berwarna hijau keputih-putihan, serta cita rasanya agak pahit.
- c. Sawi huma, yakni sawi yang tipe batangnya kecil-panjang dan langsing, daun-daunnya panjang-sempit berwarna hijau keputih-putihan, serta tangkai daunnya panjang dan bersayap.

## 2.6. Morfologi Tanaman Petsai dan Sawi (Caisin)

Tanaman sawi merupakan jenis tanaman sayuran, tanaman ini tumbuh pendek dengan tinggi antara 27-37 cm, tidak membentuk krop, berakar serabut, tumbuh dan berkembang menyebar ke semua arah dan tidak memiliki akar tunggal.

Sistem perakaran tanaman petsai dan sawi memiliki akar tunggang (*radix primaria*) dan cabang-cabang akar yang bentuknya bulat panjang (*silindris*) menyebar ke semua arah pada kedalaman antara 30–50 cm. Akar-akar ini berfungsi antara lain mengisap air dan zat makanan dari dalam tanah, serta menguatkan berdirinya batang tanaman.

Batang (*caulis*) petsai maupun sawi pendek sekali dan beruas-ruas, sehingga hampir tidak kelihatan. Batang ini berfungsi sebagai alat pembentuk dan penopang daun.

Petsai umumnya berdaun lebar dan berkerut-kerut serta membentuk krop, terutama pada petsai *B. pekinensis*. Sedangkan pada *B. chinensis* atau Pak Choi, struktur daunnya halus, tidak berbulu, dan tidak membentuk krop (telur). Agak lain dengan struktur daun sawi. Pada umumnya daun-daun sawi bersayap dan bertangkai panjang yang bentuknya pipih.

Beberapa varietas petsai dapat berbunga secara alami di daerah tropis Indonesia. Varietas yang sulit berbunga dapat dirangsang dengan perlakuan suhu dingin 5°-10° C selama 3–4 minggu pada biji-bijinya yang disebut teknik *vernalisasi*. Sedangkan tanaman sawi umumnya mudah berbunga dan berbiji secara alami, baik di dataran tinggi maupun dataran rendah. Struktur bunga petsai dan sawi tersusun dalam tangkai bunga inflorescentia yang tumbuh memanjang (tinggi) dan bercabang banyak. Tiap kuntum bunga petsai dan sawi terdiri atas

empat helai daun kelopak, empat helai daun mahkota bunga berwarna kuning-cerah, empat helai benang sari, dan satu buah putik yang berongga dua.

Penyerbukan bunga petsai dan sawi dapat berlangsung dengan bantuan serangga maupun tangan manusia. Hasil penyerbukan ini terbentuk buah yang berisi biji. Buah petsai dan sawi termaksud buah polong, yakni bentuknya memanjang dan berongga. Tiap buah (polong) berisi 2–8 butir biji. Biji-biji petsai dan sawi bentuknya bulat kecil berwarna coklat atau coklat kehitam-hitaman.

### **2.6.1 Penanaman Tanaman Sawi Caisin**

Didalam budidaya tanaman petsai dan sawi ada beberapa syarat yang harus diperhatikan:

#### **1. Iklim**

Petsai dan sawi di kenal sebagai tanaman sayuran daerah iklim sedang (sub-tropis), tetapi saat ini berkembang pesat di daerah panas (tropis). Kondisi iklim yang dikehendaki untuk pertumbuhan tanaman petsai dan sawi adalah daerah yang mempunyai suhu malam hari  $15,6^{\circ}\text{C}$  dan siang harinya  $21,1^{\circ}\text{C}$  serta penyinaran matahari antara 10–13 jam perhari. Meskipun demikian, beberapa varietas petsai yang tahan (toleran) terhadap suhu panas, dapat tumbuh dan berproduksi dengan baik di daerah yang suhunya antara  $27^{\circ}$  -  $32^{\circ}\text{C}$ .

Di indonesia, petsai pada umumnya di budidayakan di dataran tinggi (pegunungan) lebih dari 1.000 meter diatas permukaan laut (dpl), kondisi iklimnya sejuk dan lembab, serta kisaran suhu udara antara  $15^{\circ}$ - $25^{\circ}\text{C}$ . Pada suhu di bawah  $15^{\circ}$ , tanaman petsai akan cepat berbunga. Sebaliknya pada kondisi suhu di atas  $25^{\circ}\text{C}$ , tanaman petsai akan sulit berkrop atau krop yang terbentuk ukurannya kecil-kecil.

Khusus untuk tanaman sawi, pada umumnya banyak ditanam di dataran rendah. Tanaman ini selain tahan terhadap suhu panas (tinggi), juga mudah berbunga dan menghasilkan biji secara alami pada kondisi iklim tropis indonesia, sehingga tidak harus mengandalkan benih impor.

Dewasa ini telah banyak dihasilkan varietas-varietas petsai, caisin yang tahan (toleran) terhadap suhu panas. Pada skala penelitian dapat beradaptasi dan berproduksi tinggi di dataran rendah yang ketinggian tempatnya  $\pm 260$  m dpl.

## 2. Kelembaban Udara

Kelembaban udara yang sesuai untuk pertumbuhan yang optimal berkisar antara 80-90%, lebih dari 90% akan mengganggu pertumbuhan tanaman yaitu tanaman tidak subur, kualitas daun jelek, tanaman tumbuh tidak sempurna.

## 3. Curah Hujan

Curah hujan yang cukup sepanjang tahun dapat mendukung kelangsungan hidup tanaman, karena ketersediaan air tanah yang cukup. Curah hujan yang optimal berkisar antara 1000-1500 mm/tahun, dimana jika curah hujan tinggi akan mengganggu pertumbuhan tanaman dimana tanaman tidak tahan terhadap air yang menggenang

## 4. Penyinaran Cahaya Matahari

Tanaman melakukan fotosintesis yang baik memerlukan cahaya yang cukup. Energi kinetik matahari yang optimal diperlukan tanaman untuk pertumbuhan dan produksi berkisar antara  $350 \text{ cal/m}^2$  -  $400 \text{ cal/m}^2$  setiap hari.

## 5. Syarat Tanah

Petsai dan sawi dapat di tanam pada berbagai jenis tanah, namun paling baik adalah jenis tanah lempung berpasir; seperti tanah Andosol. Pada tanah-tanah yang mengandung liat perlu pengolahan lahan secara sempurna, antara lain pengolahan tanah yang cukup dalam, penambahan pasir dan pupuk organik dalam jumlah (dosis) tinggi.

Syarat tanah yang ideal untuk tanaman petsai dan sawi adalah: subur, gembur, banyak mengandung bahan organik (humus), tidak menggenang (becek), tata udara dalam tanah berjalan dengan baik, dan pH tanah antara 6-7.

Penelitian dan pengembangan tanaman petsai maupun sawi di dataran rendah, umumnya di tanam pada jenis tanah Latosol dengan pH 6 serta dosis pupuk kandang minimum 20 ton/hektar. Dari berbagai literatur ditemukan, bahwa petsai dan sawi toleran terhadap kisaran pH 5,9-8,2.

### 2.6.2 Penanaman dan Pemeliharaan tanaman caisin

Waktu tanam yang paling baik untuk menenam sawi adalah pada akhir musim hujan (maret) atau awal musim hujan (oktober). Meskipun demikian, dapat pula di tanam pada musim kemarau, asalkan keadaan airnya mencukupi.

Pemeliharaan tanaman berikutnya adalah:

#### 1. penyiraman (pengairan)

- pada fase awal pertumbuhan, perlu penyiraman (pengairan) secara rutin 1–2 kali sehari, terutama bila keadaan tanah cepat kering dan di musim kemarau. Pengairan selanjutnya berangsur-angsur di kurangi, tetapi keadaan tanahnya tidak boleh kekeringan.
- Waktu penyiraman (pengairan) sebaiknya pagi hari atau sore hari, dan cara pengairannya dapat menggunakan alat bantu gembor (emrat), selang, ataupun cara di leb.

#### 2. Pemupukan

- pemupukan susulan pada sawi dapat dilakukan satu kali saat berumur dua minggu (15 hari) setelah tanam.
- Jenis dan dosis pupuk yang diberikan adalah pupuk ZA atau Urea sebanyak  $\pm 50$  kg Nitrogen /ha, setara dengan 110 kg Urea atau  $\pm 240$  kg ZA/ha. Pada tanah yang kurang subur, dosis pupuk ZA dapat di tingkatkan menjadi  $\pm 400$  kg atau Urea  $\pm 200$  kg/ha.

### 2.7 Green House

Tanaman dalam kondisi alamiah maupun dibudidayakan dengan pertanian seringkali mengalami stres akibat kondisi lingkungan (*environmental stresses*). Stres biasanya didefinisikan sebagai faktor luar yang tidak menguntungkan yang berpengaruh terhadap tanaman. Dalam kasus ini stres karena kondisi lingkungan atau *abiotic stresses* seperti suhu, kelembaban, salinitas, kekeringan, dan banjir.

Dalam produksi tanaman, pemahaman tentang dampak stres akibat kondisi lingkungan penting untuk budidaya pertanian maupun untuk lingkungan tersebut. Dalam banyak kasus, stres biasanya diukur dengan ketahanan tanaman, produksi, pertumbuhan tanaman, kualitas panen atau yang termasuk dalam proses asimilasi

yang utama. Berdasarkan estimasi, efek *abiotic stress* berpengaruh 22% terhadap produktifitas panen yang akan dihasilkan. Beberapa contoh di bawah tentang efek stres karena kondisi lingkungan seperti kekeringan dan banjir, salinitas maupun suhu. Efek kelebihan air atau banjir yang umum adalah kekurangan oksigen, sedangkan kekurangan air atau kekeringan akan mengakibatkan dehidrasi pada tanaman yang berpengaruh terhadap zona sel turgor yang selanjutnya dapat menghambat pertumbuhan tanaman.

Suhu sebagai faktor lingkungan dapat mempengaruhi produksi tanaman secara fisik maupun fisiologis. Secara fisik, suhu merupakan bagian yang dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari dan dapat diestimasi berdasarkan keseimbangan panas. Secara fisiologis, suhu dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, fotosintesis, pembukaan stomata, dan respirasi. Selain itu, suhu merupakan salah satu penghambat dalam proses fisiologi untuk sistem produksi tanaman ketika suhu tanaman berada diluar suhu optimal terendah maupun tertinggi.

Beberapa efek dari stres karena kondisi lingkungan yang disebutkan di atas dapat dikurangi dengan menggunakan sistem pertanian dengan lingkungan yang terkontrol (*Controlled Environment in Agriculture (CEA)*), sebab *CEA* dapat mempertahankan dan menstabilkan kondisi lingkungan sesuai kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman.

*CEA* yang paling umum dan banyak digunakan adalah *greenhouse* (rumah kaca). *Greenhouse* didefinisikan sebagai bangunan tertutup yang transparan untuk menumbuhkan atau melindungi tanaman atau istilah lain didefinisikan sebagai sebuah bangunan yang dapat menyediakan kondisi optimal untuk menumbuhkan tanaman secara memuaskan sepanjang tahun. Faktor yang berpengaruh seperti suhu, sinar matahari, kelembaban, dan udara disediakan, dipertahankan dan didistribusikan secara merata dalam *greenhouse* pada level yang optimal. *Greenhouse* yang baik, terutama dalam konstruksinya, bertujuan untuk membuat kondisi cuaca yang diperlukan dan dikendalikan sedapat mungkin sehingga tanaman dapat tumbuh sepanjang tahun secara optimal. Untuk tujuan ini disyaratkan dalam pembuatan *greenhouse* adalah mempunyai transmisi cahaya

yang tinggi, konsumsi panas yang rendah, ventilasi yang cukup dan efisien, struktur yang kuat, konstruksi, dan biaya operasional yang murah.

Greenhouse untuk daerah tropis sangat memungkinkan dan mempunyai banyak keuntungan dalam produksi dan budidaya tanaman. Produksi dapat dilakukan sepanjang tahun, dimana produksi dalam lahan yang terbuka tidak memungkinkan karena adanya hujan yang sering dan angin yang kencang. Kebutuhan dan tujuan utama dari *greenhouse* dan bangunan konstruksinya untuk daerah tropis adalah:

- 1) Melindungi tanaman dari hujan yang sangat lebat yang dapat terjadi secara berlebihan, tingginya radiasi matahari dan angin
- 2) Efisiensi ventilasi yang tinggi
- 3) Jangka waktu penggunaan plastik film (sekali dalam satu tahun )
- 4) Pengumpulan air untuk irigasi dalam musim kemarau.

Struktur *greenhouse* di daerah tropis sering menggunakan sisinya untuk melindungi dan mengontrol suhu dengan menggunakan ventilasi alamiah maupun terkontrol dengan dilapisi jala (*screens*) yang mampu mengurangi serangan serangga dan hama. ([www.inovasi.com](http://www.inovasi.com))

## **2.8 HIPOTESA**

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya maka dapat disusun hipotesa yaitu :

1. Pemberian pupuk organik slurry cair untuk pertumbuhan tanaman sawi caisin dibandingkan dengan menggunakan pupuk Za.
2. Semakin banyak konsentrasi slurry yang terkandung pada pupuk maka pertumbuhan tanaman sawi caisin semakin baik.
3. Pupuk organik cair slurry dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman sawi caisin.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Agar suatu penelitian dapat disebut dengan penelitian ilmiah maka harus menggunakan metodologi penelitian yang sistematis. Metodologi penelitian yang digunakan dalam bentuk diagram dapat dilihat pada langkah - langkah penelitian.

#### **3.1 Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia.

#### **3.2 Waktu Penelitian**

Penelitian dilaksanakan selama 3 bulan:  
Dari bulan JANUARI 2007-APRIL 2007.

#### **3.3 Alat dan Bahan yang digunakan**

##### **3.3.1 Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :**

1. Jergen plastik yang berukuran 5 liter
2. Polibeg plastik
3. Rangka kayu dan plastik untuk membuat *green house*
4. Gembor
5. Alat ukur (mistar)

##### **3.3.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :**

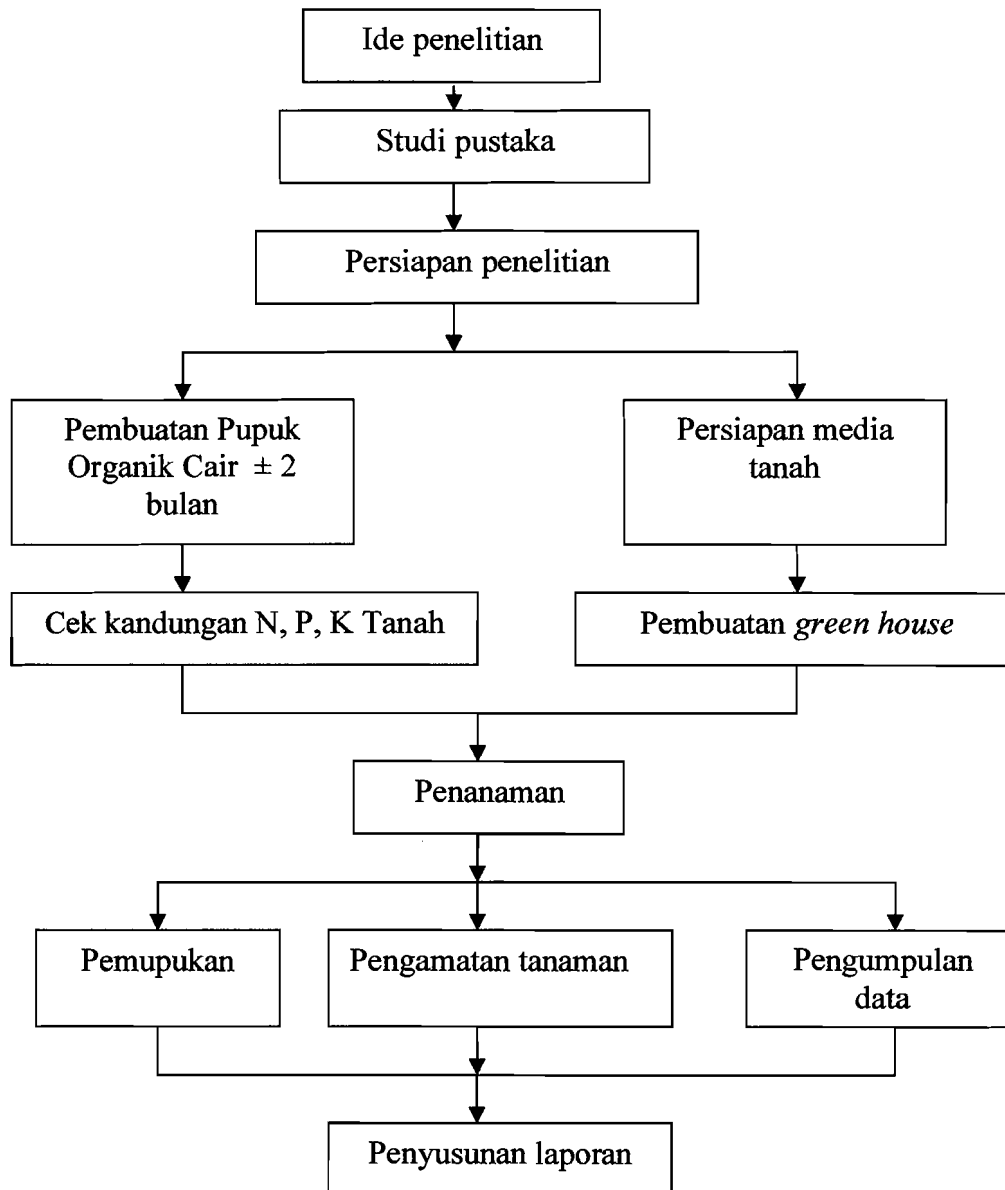
1. Tanaman Sawi Caisin
2. Slurry murni
3. Air (H<sub>2</sub>O)
4. Tanah
5. Pupuk ZA
6. Pupuk Organik Slurry Cair



### 3.4 Diagram Alir Penelitian

#### 3.4.1 Langkah - langkah Penelitian

Berikut ini adalah langkah-langkah penelitian:



Gambar 1 Diagram alir penelitian

### 3.4.2 Cara kerja

#### 1. Pembuatan pupuk organik slurry cair

pembuatan pupuk organik slurry cair di lakukan  $\pm$  1 bulan

#### 2. Analisa kandungan tanah

Analisa dilakukan untuk mengetahui kadar N, P, K yang terdapat pada tanah

### 3.1 Analisa Nitrogen (N) Total Pada Tanah

Dalam Proses analisa Nitrogen terdapat tiga tahapan yakni proses :

1. Destruksi (Melepaskan ikatan - ikatan yang mengandung N)
  - a. Timbang dengan gelas arloji sample tanah kering udara  $\pm$  1 g.
  - b. Masukkan dalam tabung *Kyelidahl* dan tambah kan 6 ml  $H_2SO_4$   
Pekat
  - c. Tambahkan campuran serbuk  $CuSO_4 + K_2SO_4 \pm$  1 atau 2 sendok kecil
  - d. Kocok hingga merata dan setelah itu dipanaskan dengan hati - hati hingga asap menghilang dan warna larutan menjadi putih kehijauan tak berwarna (pemanasan dilakukan dalam lemari asam) kemudian didinginkan.
2. Destilasi
  - e. Setelah larutan dalam tabung *Kyeldah* menjadi dingin tambahkan air suling 25-50 ml, kemudian masukan larutan ke dalam labu destilasi. Cara memasukan larutan yakni dengan menuangkan berulang-ulang dengan air suling, hal ini dilakukan agar butir-butir tanahnya tidak ikut masuk.
  - f. Masukan 10 ml  $H_2SO_4$  0,1 N kedalam gelas piala ukuran 100-150 ml. Beri 2 tetes *indicator methyl red* hingga larutan menjadi merah.

- g. Gelas piala yang telah dimasukan 10 ml  $H_2SO_4$  0,1 N ditempatkan dibawah alat pendingin destilasi hingga alat pendingin tersebut tercelup di bawah permukaan asam.
- h. Tambahkan dengan hati - hati (biasanya digunakan gelas ukur) 20 ml NaOH pekat (penambahan NaOH pekat diusahakan melalui dinding labu destilasi).
- i. Setelah proses e - h selesai maka proses destilasi dilakukan. Dalam proses destilasi larutan pada gelas piala dijaga agar larutan tetap berwarna merah, jika berubah warna tambahkan kembali  $H_2SO_4$  0,1 N. Lamanya proses destilasi hingga larutan mendidih.
- j. Setelah proses destilasi selesai, gelas piala diambil (api dapat dipadamkan jika gelas piala telah diambil).
- k. Bilas dengan air suling alat pendingin.

### 3. Titrasi

- l. Larutan dalam gelas piala dititrasi dengan NaOH 0,1 N hingga warna larutan hamper menghilang
- m. Pekerjaan a hingga l untuk blangko yakni tanpa memakai tanah.

$$N = \frac{(B - A) \times n \times 14}{\frac{100}{100 + kl} \times \text{berat tanah}(mg)} \times 100\%$$

B = Analisa blanko

A = Analisa baku

Kl = Kadar lengas contoh tanah

n = Normalitas

### 3.2 Analisa Phospor (P) Pada Tanah

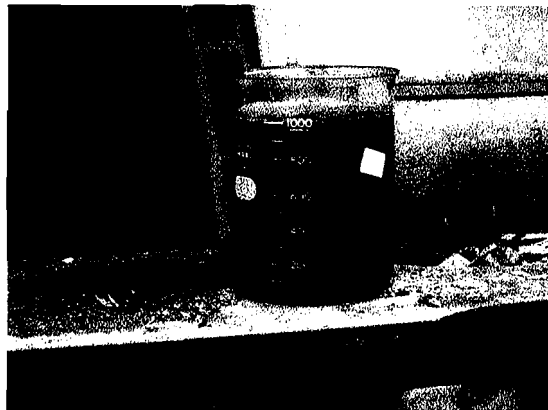
Timbang 1 gram tanah ke dalam gelas reaksi. Tambahkan 7 ml larutan pengestraksi dan gojok 1 menit, tidak boleh lebih. Saring dengan kertas saring *Whatman* 42, bila belum jernih dapat disaring lagi. Ambil 2 ml filtrat dan tambahkan 5 ml aquadest. Tambahkan 2 ml ammonium molibdate campurkan dengan baik. Tambahkan 1 ml reagen  $\text{SnCl}_2$  kemudian digojok. Setelah 5–6 menit ukur dengan menggunakan *colorimeter* 660 mu.

### 3.3 Analisa Kalium (K) Pada Tanah

1. Timbang 5 gram sample tanah yang telah dikeringkan, Tambahkan  $\text{NH}_4\text{OAc}$  1N hingga volumenya 50 ml. Gojok dengan mesin gojok selama 30 menit, lalu aring dengan kertas saring.
2. Ambil 5 ml ekstrak dengan menggunakan pipit, tambahkan 5 ml  $\text{LiCl}$ , lalu tambahkan aquades hingga 50 ml. kabutkan dengan fotometer pijar.

## 4. Pengenceran slurry

Pengenceran slurry merupakan variabel penelitian, dimana konsentrasi pengenceran yang akan dilakukan yakni (100%, 75%, 50%, 25%).



Gambar 3.1 Pengenceran slurry

### 5. **Persiapan media penanaman**

Media tanam yang akan digunakan yakni tanah yang kemudian di isi pada polibeg.



Gambar 3.2 Media tanam polibeg

### 6. **Pembuatan *green house***

*Green house* yang akan digunakan di buat dari rangka kayu yang sederhana.

Atap dan dinding dibuat dengan menggunakan plastik dan paranet.



Gambar 3.3 Green house

## 7. Penanaman

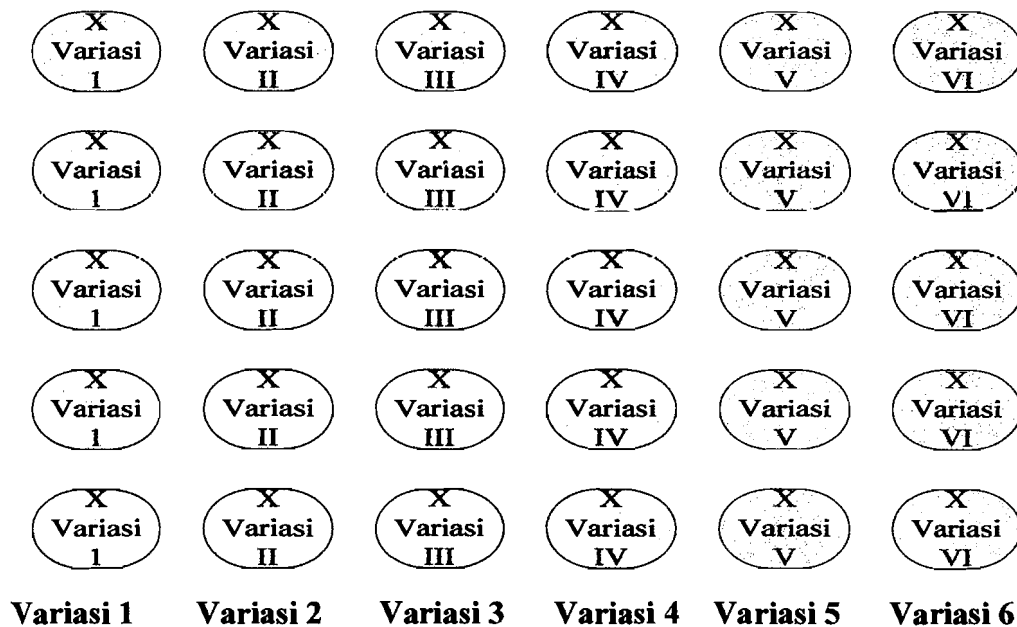
Penanaman di lakukan di dalam polibeg, dan terdapat 6 variasi perlakuan, setiap variasi ada 5 pot. Penanaman sawi caisin ini dilakukan mulai dari bibit yang telah disemai selama 1 minggu. Yang setiap pot diberi label I, II, III, IV, V, VI.

## 8. Pemupukan

Dala proses pemupukan terdapat 6 variabel perlakuan yaitu :

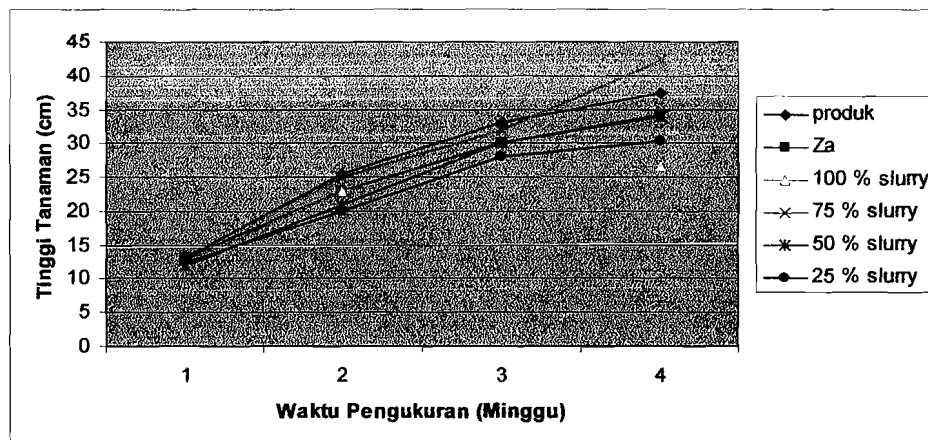
- Pot berlabel I diberi slurry dengan konsentrasi 100%
- Pot berlabel II diberi slurry yang telah dilakukan pengenceran 75%
- Pot berlabel III diberi slurry yang telah dilakukan pengenceran 50%
- Pot berlabel IV diberi slurry yang telah dilakukan pengenceran 25%
- Pot berlabel V di beri pupuk ZA
- Pot berlabel VI di beri pupuk slurry

Untuk penyiraman tanaman dilakukan 2 hari sekali. Dan dilakukan pada sore hari.



**X = Tanaman Sawi Caisin**

Gambar 4 Variasi Tanaman sawi caisin



Gambar 4.1 Rata-rata tinggi tanaman sawi caisin

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat terjadinya peningkatan pertumbuhan tanaman sawi caisin dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4. Pertumbuhan tinggi tanaman sawi caisin yang paling baik dihasilkan dengan pemberian slurry dengan pengenceran 75% pada tanaman sawi caisin. Sedangkan pertumbuhan tinggi tanaman sawi caisin yang paling lambat dihasilkan dengan pemberian slurry 100% pada tanaman sawi caisin. Hal ini dikarenakan oleh tingginya pH awal dari slurry 100% yang mencapai pH 8,4 sedangkan sawi toleran terhadap kisaran pH 8,2 dan juga dipengaruhi oleh serapan fosfor yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya unsur Fe dan juga kandungan nitrogen pada slurry sangat besar. Jumlah nitrogen yang besar dapat memperlambat pertumbuhan tanaman bahkan dapat menyebabkan kematian pada tanaman, sedangkan fosfor sangat penting dalam pembentukan akar, jika pembentukan akar terganggu penyerapan nutrisi pun akan berkurang yang dapat menyebabkan langsung berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman itu sendiri.

Untuk slurry dengan pengenceran 75% begitu dominan dalam peningkatan tinggi tanaman hal ini di karenakan setelah pengenceran nilai konsentrasi K cocok komposisi dengan nilai konsentrasi K yang dibutuhkan oleh tanaman sawi caisin yaitu nilai K setelah pengenceran = 0,032 % dan nilai K pada tanaman = 0.0323 %, dimana fungsi kalium itu sendiri yaitu memperkuat tubuh tanaman supaya daun, buah tidak gampang rontok dan memperluas pembentukan akar.

#### 4.4.1.1 Pertumbuhan Tinggi Tanaman Sawi Caisin

Pengolahan untuk data lebih dari dua sampel sebaiknya menggunakan uji ANOVA dengan asumsi populasi-populasi yang akan diuji berdistribusi normal, varians dari populasi-populasi tersebut adalah sama, serta sampel tidak berhubungan satu dengan yang lainnya. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah rata-rata dari semua varians memiliki perbedaan yang signifikan. Adapun ringkasan statistik dari data pengukuran rata-rata pertumbuhan tinggi tanaman sawi caisin dapat dilihat pada Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 *Descriptive* Untuk Tinggi Tanaman

#### Descriptives

Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
produk	4	27.2250	10.68032	5.34016	10.2302	44.2198	13.00	37.40
ZA	4	25.0500	9.26697	4.63348	10.3042	39.7958	13.00	34.20
100 %	4	22.6000	6.93157	3.46579	11.5703	33.6297	12.70	28.00
75 %	4	28.1250	12.14726	6.07363	8.7960	47.4540	13.30	42.20
50 %	4	24.2250	9.77765	4.88883	8.6666	39.7834	12.00	33.90
25 %	4	22.7000	8.10720	4.05360	9.7996	35.6004	12.50	30.30
Total	24	24.9875	8.78761	1.79376	21.2768	28.6982	12.00	42.20



Test of Homogeneity dilakukan untuk menguji berlaku atau tidaknya asumsi pada ANOVA, yaitu apakah sampel tersebut mempunyai varians yang sama. Adapun hasil perhitungan probabilitas dengan tes homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.6 *Homogenitas varians* untuk nilai tinggi tanaman sawi caisin

**Test of Homogeneity of Variances**

Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.355	5	18	.872

Hipotesis :

$H_0$  : varians populasinya identik

$H_1$  : varians populasinya tidak identik

Pengambilan keputusan :

- Jika probabilitas  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima
- Jika probabilitas  $< 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak

Dari Tabel 4.6 terlihat bahwa Levene Statistic adalah 0,355 dengan nilai probabilitas 0,872. Oleh karena itu probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima, atau varians sama.

Sedangkan untuk menguji apakah varians sampel mempunyai rata-rata (Mean) yang sama, maka uji ANOVA (Analysis of Variance) dilakukan. Hasil analisis dengan menggunakan ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.7 dibawah ini:

Tabel 4.7 *Analysis of Variances* (ANOVA) untuk Nilai Tinggi Tanaman

## ANOVA

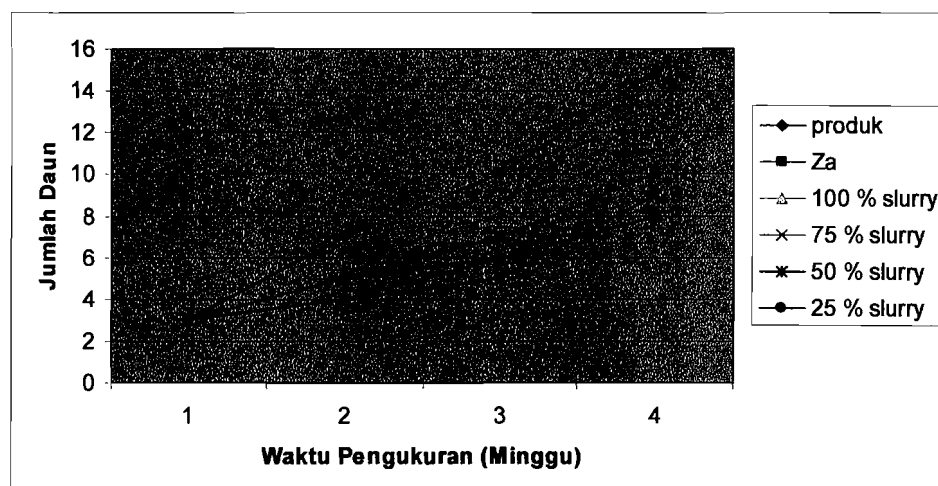
Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	105.474	5	21.095	.227	.946
Within Groups	1670.633	18	92.813		
Total	1776.106	23			

Berdasarkan Tabel 4.7 diatas maka dapat terlihat bahwa nilai F adalah 0,227 dengan probabilitas 0,946. oleh karena nilai probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima atau rata-rata nilai tinggi tanaman sawi caisin tersebut identik. Berarti perbedaan tinggi tanaman untuk tiap varians tanaman dengan perlakuan pupuk cair slurry, za dan slurry 100%, 75%, 50%, 25% tidak signifikan

#### 4.4.2 Jumlah Daun Tanaman Sawi Caisin

Dari hasil analisa jumlah daun tanaman yang diambil setiap minggu, dapat dilihat pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Jumlah daun tanaman sawi caisin

Pada Gambar 4.2 pada tanaman yang menggunakan produk pupuk cair slurry adanya peningkatan pada jumlah daun yang dihasilkan yaitu senilai 15 lembar daun, sedangkan jumlah daun paling sedikit terdapat pada tanaman yang diperlakukan dengan pemberian slurry dengan pengenceran 100%, 75% dan 25% .

Untuk indikator jumlah daun berpengaruh terhadap pemberian produk pupuk cair slurry, hal ini disebabkan oleh nilai kalium yang terdapat dalam pupuk cair slurry begitu tinggi dibanding variasi lain. Dimana fungsi dari kalium itu sendiri antara lain :

- 1). Translikasi (pemindahan) gula pada pembentukan pati dan protein
- 2). Membantu proses membuka dan menutup stomata (mulut daun)
- 3). Efisiensi penggunaan air (ketahanan terhadap kekeringan)
- 4). Memperluas pembentukan akar
- 5). Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit
- 6). Memperkuat tubuh tanaman supaya daun, buah tidak gampang rontok

Sedangkan yang terjadi pada tanaman sawi caisin dengan perlakuan slurry 100%, 75% dan 25% . Hal ini disebabkan nitrogen yang tinggi yang terdapat pada slurry itu sendiri, dimana apabila nitrogen terlalu banyak dan tidak diimbangi oleh unsur hara lainnya dapat mengganggu pertumbuhan tanaman bahkan dapat menyebabkan tanaman mati. Untuk tanaman dengan perlakuan Za juga memiliki nitrogen yang tinggi yaitu 21%, akan tetapi bisa diimbangi oleh adanya unsur belerang yang tinggi yaitu 25%, dimana fungsi belerang itu sendiri yaitu :

1. Membantu pembentukan butir hijau daun sehingga daun menjadi lebih hijau.
2. Menambah kandungan protein dan vitamin hasil panen.

3. Meningkatkan jumlah anakan yang menghasilkan.
  4. berperan penting pada proses pembulatan zat gula.
  5. Memperbaiki warna, aroma, dan kelenturan daun
- (Sumber : www.petrokimia.com)

#### 4.4.2.1 Pertumbuhan Jumlah Daun Tanaman Sawi Caisin

Adapun ringkasan statistik dari data pengukuran rata-rata pertumbuhan jumlah daun tanaman sawi caisin dapat dilihat pada Tabel 4.8 dibawah ini :

Tabel 4.8 *Descriptive* Untuk Jumlah Daun Tanaman Sawi Caisin

##### Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Produk	4	8.75	5.058	2.529	.70	16.80	3	15
ZA	4	6.25	2.986	1.493	1.50	11.00	3	10
100 %	4	5.50	2.082	1.041	2.19	8.81	3	8
75 %	4	5.50	2.082	1.041	2.19	8.81	3	8
50 %	4	5.25	2.630	1.315	1.07	9.43	3	9
25 %	4	5.25	2.217	1.109	1.72	8.78	3	8
Total	24	6.08	2.962	.605	4.83	7.33	3	15

Perhitungan jumlah daun tiap variasi

Adapun hasil perhitungan probabilitas dengan tes homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4.9 *Homogenitas varians* untuk nilai jumlah daun tanaman sawi caisin

##### Test of Homogeneity of Variances

Perhitungan jumlah daun tiap variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.186	5	18	.355

Dari Tabel 4.9 terlihat bahwa Levene Statistic adalah 1,186 dengan nilai probabilitas 0,355. Oleh karena itu probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima, atau varians sama.

Sedangkan untuk menguji apakah varians sampel mempunyai rata-rata (Mean) yang sama, maka uji ANOVA (Analysis of Variance) dilakukan. Hasil analisis dengan menggunakan ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.10 dibawah ini:

Tabel 4.10 *Analysis of Variances* (ANOVA) untuk Nilai Jumlah Daun Tanaman

**ANOVA**

Perhitungan jumlah daun tiap variasi

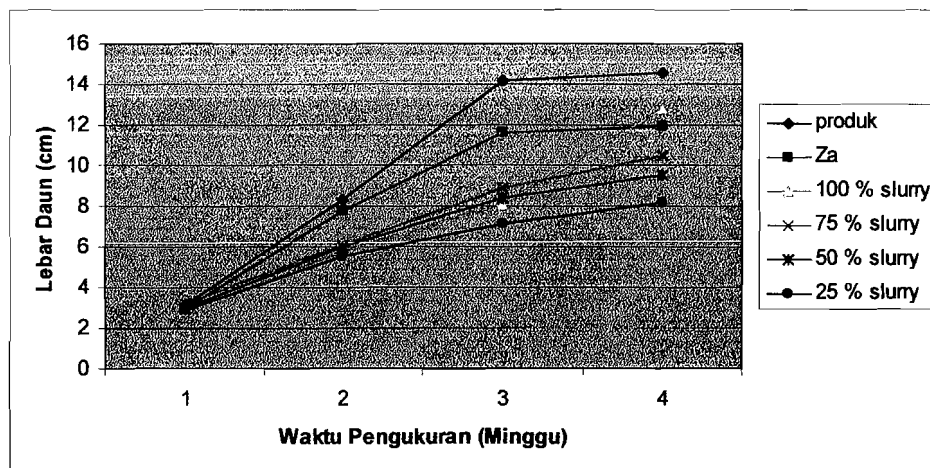
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	36.833	5	7.367	.804	.562
Within Groups	165.000	18	9.167		
Total	201.833	23			

Berdasarkan Tabel 4.10 diatas maka dapat terlihat bahwa nilai F adalah 0,804 dengan probabilitas 0,562. oleh karena nilai probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima atau rata-rata nilai jumlah daun tanaman sawi caisin tersebut identik. Berarti perbedaan jumlah daun tiap varians tanaman dengan perlakuan pupuk cair slurry, za dan slurry 100%, 75%, 50%, 25% tidak signifikan.

#### 4.4.3 Hasil Analisa Lebar Daun Tanaman Sawi Caisin

Dari hasil analisa lebar daun tanaman yang diambil setiap minggu, dapat dilihat pada Gambar 4.3





Gambar 4.3 Lebar daun tanaman sawi caisin

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat terjadinya peningkatan pertumbuhan lebar daun tanaman sawi caisin dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4. Pertumbuhan lebar daun tanaman sawi caisin yang paling baik pada minggu ke-1 dihasilkan dengan pemberian slurry dengan pengenceran 75% pada tanaman sawi caisin. Sedangkan pertumbuhan lebar daun tanaman sawi caisin yang paling baik pada minggu ke-2 sampai minggu ke-4 dihasilkan dengan pemberian produk pupuk cair slurry terhadap tanaman sawi caisin. Pertumbuhan jumlah daun tanaman sawi caisin yang paling lambat pada minggu ke-1 sampai minggu ke-4 dihasilkan dengan pemberian slurry dengan pengenceran 25% pada tanaman sawi caisin. Hal ini disebabkan oleh pengenceran yang tidak sebanding dengan komposisi unsur-unsur hara yang ada pada slurry, di mana air ( $H_2O$ ) lebih dominan dari unsur N,P,K yang terkandung dalam slurry dan juga nilai N setelah pengenceran yang terlalu besar yang mencapai 0,33 % sedangkan nilai N yang dibutuhkan hanya 0.002 dimana jika nilai N yang terlalu besar bisa mengganggu pertumbuhan tanaman bahkan bisa membuat tanaman mati.

#### 4.4.3.1 Pertumbuhan Lebar Daun Tanaman Sawi Caisin

Adapun ringkasan statistik dari data pengukuran rata-rata pertumbuhan lebar daun tanaman sawi caisin dapat dilihat pada Tabel 4.11 dibawah ini :

Tabel 4.11 *Descriptive* Untuk Lebar Daun Tanaman Sawi Caisin

**Descriptives**

Perhitungan lebar daun tiap variasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Produk	4	10.0500	5.45558	2.72779	1.3690	18.7310	3.10	14.60
ZA	4	8.5750	4.15883	2.07941	1.9574	15.1926	3.00	11.90
100 %	4	7.4250	4.14598	2.07299	.8278	14.0222	3.00	12.80
75 %	4	7.1750	3.21390	1.60695	2.0610	12.2890	3.20	10.50
50 %	4	6.7250	2.88141	1.44070	2.1400	11.3100	3.00	9.50
25 %	4	5.9250	2.30127	1.15063	2.2632	9.5868	2.90	8.20
Total	24	7.6458	3.65596	.74627	6.1021	9.1896	2.90	14.60

Adapun hasil perhitungan probabilitas dengan tes homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah ini:

Tabel 4.12 *Homogenitas varians* untuk nilai lebar daun tanaman sawi caisin

**Test of Homogeneity of Variances**

Perhitungan lebar daun tiap variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.092	5	18	.399

Dari Tabel 4.12 terlihat bahwa Levene Statistic adalah 1,092 dengan nilai probabilitas 0,399. Oleh karena itu probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima, atau varians sama.

Sedangkan untuk menguji apakah varians sampel mempunyai rata-rata (Mean) yang sama, maka uji ANOVA (Analysis of Variance) dilakukan. Hasil analisis dengan menggunakan ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.13 dibawah ini:

Tabel 4.13 *Analysis of Variances* (ANOVA) untuk Nilai Lebar Daun

**ANOVA**

Perhitungan lebar daun tiap variasi

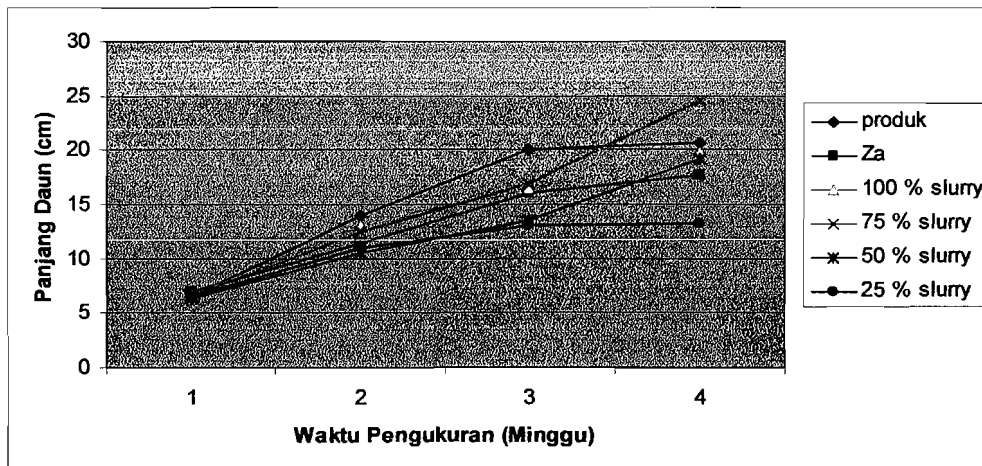
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42.892	5	8.578	.584	.712
Within Groups	264.528	18	14.696		
Total	307.420	23			

Berdasarkan Tabel 4.13 diatas maka dapat terlihat bahwa nilai F adalah 0,584 dengan probabilitas 0,712. oleh karena nilai probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima atau rata-rata nilai lebar tanaman sawi caisin tersebut identik. Berarti perbedaan lebar daun tiap varians tanaman dengan perlakuan pupuk cair slurry, za dan slurry 100%, 75%, 50%, 25% tidak signifikan.

#### 4.4.4. Panjang Daun Tanaman Sawi Caisin

Dari hasil analisa panjang daun tanaman yang diambil setiap minggu, dapat dilihat pada Gambar 4.4





Gambar 4.4 Panjang daun tanaman sawi caisin

Dari Gambar 4.4 dapat dilihat terjadinya peningkatan pertumbuhan panjang daun tanaman sawi caisin dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4. Pertumbuhan panjang daun tanaman sawi caisin yang paling baik pada minggu ke-1 sampai minggu ke-3 dihasilkan dengan pemberian produk pupuk cair slurry pada tanaman sawi caisin. Sedangkan pertumbuhan panjang daun tanaman sawi caisin yang paling baik pada minggu ke-4 dihasilkan dengan pemberian slurry dengan pengenceran 75% pada tanaman sawi caisin hal ini di karenakan setelah pengenceran nilai konsentrasi K cocok komposisi dengan nilai konsentrasi K yang dibutuhkan oleh tanaman sawi caisin yaitu nilai K setelah pengenceran = 0,032 % dan nilai K pada tanaman = 0.0323 %, Pertumbuhan panjang daun tanaman sawi caisin yang paling lambat pada minggu ke-1 sampai minggu ke-4 dihasilkan dengan pemberian slurry dengan pengenceran 25% pada tanaman sawi caisin.

#### 4.4.4.1 Pertumbuhan Panjang Daun Tanaman Sawi Caisin

Adapun ringkasan statistik dari data pengukuran rata-rata pertumbuhan panjang daun tanaman sawi caisin dapat dilihat pada Tabel 4.14 dibawah ini :

Tabel 4.14 *Descriptive* Untuk panjang Daun Tanaman Sawi Caisin

##### Descriptives

Perhitungan panjang daun tiap variasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Produk	4	15.3000	6.59242	3.29621	4.8100	25.7900	6.50	20.70
ZA	4	13.0250	4.77520	2.38760	5.4266	20.6234	7.00	17.60
100 %	4	13.9750	5.56859	2.78429	5.1141	22.8359	6.70	19.70
75 %	4	15.1250	7.58700	3.79350	3.0524	27.1976	6.50	24.50
50 %	4	12.4000	5.33354	2.66677	3.9131	20.8869	6.40	19.10
25 %	4	12.4000	5.33354	2.66677	3.9131	20.8869	6.40	19.10
Total	24	13.7042	5.39400	1.10104	11.4265	15.9819	6.40	24.50

Adapun hasil perhitungan probabilitas dengan tes homogenitas varians dapat dilihat pada Tabel 4.15 dibawah ini:

Tabel 4.15 *Homogenitas varians* untuk nilai pajang daun tanaman sawi caisin

##### Test of Homogeneity of Variances

Perhitungan panjang daun tiap variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.260	5	18	.929

Dari Tabel 4.15 terlihat bahwa Levene Statistic adalah 0,260 dengan nilai probabilitas 0,929. Oleh karena itu probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima, atau varians sama.

Sedangkan untuk menguji apakah varians sampel mempunyai rata-rata (Mean) yang sama, maka uji ANOVA (Analysis of Variance) dilakukan. Hasil analisis dengan menggunakan ANOVA dapat dilihat pada Tabel 4.16 dibawah ini:

Tabel 4.16 *Analysis of Variances* (ANOVA) untuk Nilai Panjang Daun

#### ANOVA

Perhitungan panjang daun tiap variasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34.007	5	6.801	.193	.961
Within Groups	635.183	18	35.288		
Total	669.190	23			

Berdasarkan Tabel 4.16 diatas maka dapat terlihat bahwa nilai F adalah 0,193 dengan probabilitas 0,961. oleh karena nilai probabilitas  $> 0,05$  maka  $H_0$  diterima atau rata-rata nilai panjang tanaman sawi caisin tersebut identik. Berarti perbedaan tiap varians tanaman dengan perlakuan pupuk cair slurry, za, dan slurry 100%, 75%, 50%, 25% tidak signifikan..

#### 4.4.5 Berat Basah Dan Berat Kering

Kecepatan pertumbuhan dapat diukur dengan beberapa cara antara lain mengukur tinggi tanaman, luas tanaman, lebar daun, berat basah dan berat kering dimana masing-masing organ seperti akar, batang dan daun (Nogle and Firtz, 1979). Setelah panen tanaman sawi caisin ditimbang berdasarkan variasi, adapun berat basah dan berat kering tanaman setiap variasi dapat di lihat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18

Tabel 4.17 Berat Basah Tanaman Sawi Caisin

Berat Basah Tanaman Sawi Caisin Pervariasi					
Produk (gr)	Za (gr)	100 % (gr)	75 % (gr)	50 % (gr)	25 % (gr)
144,52	54,38	42,59	24,44	37,33	30,62

Sumber : Data primer, 2007

Tabel 4.18 Berat Kering Tanaman Sawi Caisin

Berat Kering Tanaman Sawi Caisin Pervariasi					
Produk (gr)	Za (gr)	100 % (gr)	75 % (gr)	50 % (gr)	25 % (gr)
11,83	4,88	3,57	1,94	3,26	2,64

Sumber : Data primer, 2007

Dari penelitian dan analisa data yang telah dilakukan terhadap berat basah dan berat kering tanaman sawi caisin dengan 6 variasi pengenceran slurry (100%, 75% , 50% , 25% , ZA dan produk pupuk cair slurry) yang berbeda diperoleh hasil yang bervariasi dari analisa statistik adanya perbedaan pupuk dan pengenceran yang berbeda mendapatkan hasil berat basah dan berat kering tanaman yang berbeda.

Hasil berat basah dan berat kering pada varietas terbesar pada penanganan produk pupuk cair slurry, kemudian setelah itu Za, slurry dengan pengenceran 100 %, slurry 50 %, slurry 25 % dan menurun sampai slurry dengan pengenceran 75%.

Peningkatan berat tanaman sawi caisin disebabkan oleh perubahan ukuran bagian-bagian atau organ-organ tumbuhan akibat dari penambahan sel dan penambahan ukuran sel. Pertambahan sel-sel tersebut terjadi melalui pembelahan sel (Guritno dan Sitompul, 1995). Sel-sel baru yang terbentuk memerlukan karbohidrat yang besar untuk menyusun dindingnya.pada tumbuhan pembentukan

karbohidrat terjadi melalui fotosintesis (Lehninger, 1994), sehingga dengan tersedianya cahaya yang cukup maka pertumbuhan tanaman menjadi sempurna.

Setelah meneliti berat kering dan berat basah dari data yang ada, dari tanaman dengan penanganan slurry 75% di dapat berat paling rendah, jika merujuk pada data sebelumnya dimana slurry dengan pengenceran 75% memiliki keunggulan dalam tinggi tanaman dan panjang daun tetapi masih ada kelemahan dalam hal berat tanaman di banding dengan tanaman dengan penanganan slurry 25 %, sedangkan untuk variasi tanaman lainnya yaitu : variasi Za, slurry 100%, slurry 50% masih tergolong normal. Dan untuk variasi produk pupuk cair slurry terlihat begitu mencolok dalam hal berat basah dan kering, ini dikarenakan produk pupuk cair slurry unggul dalam jumlah daun dibanding yang lain, dan juga terlihat begitu segar, berisi, dan sehat.

Hasil pertumbuhan tanaman sawi caisin untuk semua indikator pertumbuhan terlihat untuk peningkatan pertumbuhan tanaman sawi caisin dari minggu ke-1 sampai minggu ke-4. Pertumbuhan tinggi tanaman sawi dan panjang daun tanaman sawi caisin yang paling baik dihasilkan dengan pemberian slurry dengan pengenceran 75% pada tanaman sawi caisin. Sedangkan pertumbuhan tinggi tanaman sawi caisin yang paling lambat dihasilkan dengan pemberian slurry 100% pada tanaman sawi caisin. Hal ini dikarenakan oleh tingginya pH awal dari slurry 100% yang mencapai pH 8,4 sedangkan sawi toleran terhadap kisaran pH 8,2 dan juga dipengaruhi oleh serapan fosfor yang tinggi dapat menyebabkan berkurangnya unsur Fe dan juga kandungan nitrogen pada slurry sangat besar. Jumlah nitrogen yang besar dapat memperlambat pertumbuhan

tanaman bahkan dapat menyebabkan kematian pada tanaman, sedangkan fosfor sangat penting dalam pembentukan akar, jika pembentukan akar terganggu penyerapan nutrisi pun akan berkurang yang dapat menyebabkan langsung berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman itu sendiri.

Untuk slurry dengan pengenceran 75% begitu dominan dalam peningkatan tinggi tanaman dan panjang daun tanaman hal ini di karenakan setelah pengenceran nilai konsentrasi K cocok komposisi dengan nilai konsentrasi K yang dibutuhkan oleh tanaman sawi caisin yaitu nilai K setelah pengenceran = 0,032 % dan nilai K pada tanaman = 0.0323 %, dimana fungsi kalium itu sendiri yaitu memperkuat tubuh tanaman supaya daun, buah tidak gampang rontok dan memperluas pembentukan akar.

Sedangkan untuk pupuk cair slurry mempunyai keunggulan dalam jumlah daun yaitu mencapai 15 lembar daun, hal ini disebabkan oleh nilai kalium yang terdapat dalam pupuk cair slurry begitu tinggi dibanding variasi lain. Dimana fungsi kalium itu sendiri antara lain :

- 1). Translikasi (pemindahan) gula pada pembentukan pati dan protein
- 2). Membantu proses membuka dan menutup stomata (mulut daun)
- 3). Efisiensi penggunaan air (ketahanan terhadap kekeringan)
- 4). Memperluas pembentukan akar
- 5). Meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan hama dan penyakit
- 6). Memperkuat tubuh tanaman supaya daun, buah tidak gampang rontok

Sedangkan jumlah daun yang paling sedikit yang terjadi pada tanaman sawi caisin yaitu dengan perlakuan slurry 100%, 75% dan 25% . Hal ini

disebabkan nitrogen yang tinggi yang terdapat pada slurry itu sendiri, dimana apabila nitrogen terlalu banyak dan tidak diimbangi oleh unsur hara lainnya dapat mengganggu pertumbuhan tanaman bahkan dapat menyebabkan tanaman mati.

Dan untuk lebar daun komposisi yang terbaik yaitu perlakuan tanaman dengan pupuk cair slurry sedangkan pertumbuhan lebar daun yang paling kecil yaitu dengan pemberian slurry dengan pengenceran 25% pada tanaman sawi caisin. Hal ini disebabkan oleh pengenceran yang tidak sebanding dengan komposisi unsur-unsur hara yang ada pada slurry, di mana air ( $H_2O$ ) lebih dominan dari unsur N,P,K yang terkandung dalam slurry dan juga nilai N setelah pengenceran yang terlalu besar yang mencapai 0,33 % sedangkan nilai N yang dibutuhkan hanya 0.002 %

Sedangkan dalam penelitian untuk penanaman tanaman digunakan green house untuk melindungi tanaman dari serangan hama dan air hujan, ini karena tanaman sawi tidak tahan terhadap air yang menggenang dan curah hujan yang tinggi, untuk penggunaan green house sendiri tidak terlalu berpengaruh besar terhadap pertumbuhan tanaman, tetapi dapat membantu melindungi tanaman dari iklim yang tidak baik dan gangguan dari luar seperti hama belalang.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari hasil penelitian ini dapat berdasarkan tujuan penelitian, diantaranya :

1. Pertumbuhan tanaman sawi caisin yang di beri produk pupuk cair slurry masih lebih baik dalam pertumbuhan jumlah daun, lebar daun dan berat basah maupun berat kering dibanding variasi tanaman dengan perlakuan pupuk za, slurry 100%, 75%, 50%, 25%.
2. Sedangkan untuk slurry dengan pengenceran 75% lebih baik dalam tinggi tanaman dan panjang daun tetapi untuk berat basah dan berat kering paling rendah di banding dengan pemberian pupuk cair slurry, za, slurry 100%, 50%, 25%.
3. Untuk slurry dengan pengenceran 25% jika dilihat dari indikator pertumbuhan tidak terlalu baik untuk dijadikan pupuk tanaman.
4. Dalam pertumbuhan tanaman sawi caisin sangat dipengaruhi oleh nilai N,P,K yang terkandung dalam tanah, pupuk cair slurry maupun slurry itu sendiri dimana nilai kalium baik dalam pertumbuhan tanaman sedangkan untuk nilai N jika terlalu besar dalam membuat tanaman mati.
5. Untuk nilai pH tidak terlalu berpengaruh terlalu besar karena untuk sawi caisin masih toleran terhadap pH kisaran 5,9-8,2



6. Untuk penggunaan Green House tidak berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan tanaman, tetapi dapat membantu mengatasi hama penyakit dan kelebihan air akibat musim penghujan.
7. Untuk produk pupuk cair slurry untuk semua indikator terlihat begitu baik, sehingga cocok untuk dijadikan pupuk untuk dikembangkan lebih baik.

## **5.2 Saran**

1. Disarankan dalam pemanfaatan slurry dengan pengenceran 25% tidak digunakan karena tidak begitu baik untuk pertumbuhan tanaman.
2. Dilakukan banyak penelitian tentang slurry dalam pembuatan pupuk cair, agar didapat komposisi yang baik sehingga bisa dijadikan alternatif pupuk untuk menggantikan pupuk kimia yang ada.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Haryono, 1993, Jurnal Fakultas Pertanian Universitas Muhamadiyah Yogyakarta.
- Jorgenson L.T, Tarnow I., Forslund A., Dalsgaard A., and Enemark H. L., 2004. "Survival of faecal indicators and bacterial and parasitic pathogens in source separated human urine" in : Werner C. (ed), *E cosan - closing the loop : Proceeding of the 2<sup>nd</sup> international symposium on ecological sanitation, incorporation the 1<sup>st</sup> IWA specialist group conference on sustainable sanitation*, 7 - 11 april 2003, Lubeck, Germani : GTZ *Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit*
- Novizan, 2005, Petunjuk Pemupukan yang Efektif, Jakarta, Agromedia Pustaka.
- Pranata.A.S, 2005, Pupuk Organik Cair Aplikasi dan Manfaatnya, Jakarta, Agromedia Pustaka.
- Rukmana.R, 2007, Bertanam Petsai dan Sawi  
www.inovasi.com, Manfaat Green House
- Simpson.M - Hebert *Ecological Sanitation*, 2004, Stockholm Enviroment Institute.
- Saraswati, Laili.D dan Nurliza.S, 2003, Pemanfaatan Tinja Sebagai Sumber Biogas, UII Yogyakarta
- Vinneras, B, 2001, Pemisahan Tinja dan Pembelokan Urin Untuk Manajemen Nutrient Limbah dan Limbah Air Rumah Tangga Biodegradasi, *Swedish University of Agricultural Sciences Departement of Agricultural Engineering*.

**Kartu Peserta Tugas Akhir**

**Lampiran 1**

**KARTU PESERTA TUGAS AKHIR**

NO	NAMA	NO MHS	PRODI
1	Afandi Rantoliwong	99513036	Teknik Lingkungan
2			

**JUDUL TUGAS AKHIR** Pengaruh Penambahan Limbah Slurry dan Produk Pupuk Organik Slurry Cair Terhadap Laju Pertumbuhan Tanaman Sawi Caisin

**PERIODE**  
**TAHUN AKADEMIK Genap 2006/2007**

No	kegiatan	Bulan Ke					
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
1	Pendaftaran						
2	Penentuan Dosen pembimbing						
3	Pembuatan Proposal						
4	Seminar proposal						
5	Konsultasi Penyusunan TA						
6	Sidang - sidang						
7	Pendadaran						

DOSEN PEMBIMBING I  
DOSEN PEMBIMBING II  
DOSEN PEMBIMBING III

Luqman Hakim, ST, Msi  
Eko Siswoyo, ST



Catatan

Seminar  
Sidang  
Pendadaran

Yogyakarta, 12 maret 2007  
Koordinator TA

(Eko Siswoyo, ST)

# Lampiran 2

Perhitungan Konsentrasi N, P, K

❖ **Konsentrasi N tiap variasi dalam slurry**

Variasi 100% = 1,303 %

Variasi 75% → 1,303 % = 100%

$$X \% = 75\%$$

$$X \% = \frac{52,323\% \times 75\%}{100\%}$$

$$= 0,977 \%$$

Variasi 50% → 1,303 % = 100%

$$X \% = 50\%$$

$$X \% = \frac{1,303\% \times 50\%}{100\%}$$

$$= 0,652 \%$$

Variasi 25% → 1,303 % = 100%

$$X \% = 25\%$$

$$X \% = \frac{1,303\% \times 25\%}{100\%}$$

$$= 0,326 \%$$

❖ Konsentrasi P tiap variasi dalam slurry

Variasi 100% = 346,228 ppm

Variasi 75% → 346,228 ppm = 100%

$$X \text{ ppm} = 75\%$$

$$X \text{ ppm} = \frac{346,228 \text{ ppm} \times 75\%}{100\%}$$

$$= 259,671 \text{ ppm}$$

$$X \% = 0,0259 \%$$

Variasi 50% → 346,228 ppm = 100%

$$X \text{ ppm} = 50\%$$

$$X \text{ ppm} = \frac{346,228 \text{ ppm} \times 50\%}{100\%}$$

$$= 173,114 \text{ ppm}$$

$$X \% = 0,0173 \%$$

Variasi 25% → 346,228 ppm = 100%

$$X \text{ ppm} = 25\%$$

$$X \text{ ppm} = \frac{346,228 \text{ ppm} \times 25\%}{100\%}$$

$$= 86,557 \text{ ppm}$$

$$X \% = 0,00865 \%$$

❖ Konsentrasi K tiap variasi dalam slurry

$$\text{Variasi 100\%} = 421,388 \text{ ppm}$$

$$\text{Variasi 75\%} \rightarrow 421,388 \text{ ppm} = 100\%$$

$$X \text{ ppm} = 75\%$$

$$X \text{ ppm} = \frac{421,388 \text{ ppm} \times 75\%}{100\%}$$

$$= 316,041 \text{ ppm}$$

$$X \% = 0,0316 \%$$

$$\text{Variasi 50\%} \rightarrow 421,388 \text{ ppm} = 100\%$$

$$X \text{ ppm} = 50\%$$

$$X \text{ ppm} = \frac{421,388 \text{ ppm} \times 50\%}{100\%}$$

$$= 210,694 \text{ ppm}$$

$$X \% = 0,0211 \%$$

$$\text{Variasi 25\%} \rightarrow 421,388 \text{ PPM} = 100\%$$

$$X \text{ ppm} = 25\%$$

$$X \text{ ppm} = \frac{421,388 \text{ ppm} \times 25\%}{100\%}$$

$$= 105,347 \text{ ppm}$$

$$X \% = 0,0105 \%$$



Hasil Analisa Kandungan N, P, K dan  
C/N Pada Slurry Murni dan Tanah

## Lampiran 3

## HASIL ANALISIS

No. : 1561/HA-KA/03/07  
Pengirim : Afandi Rantoliwong, Jl. Kaliurang km 5 No. 34 Yogyakarta.  
Jumlah sampel : 1  
Penentuan : Kadar C, N, P dan K dalam sampel Slurry (Kotoran Sapi)  
Tgl. Analisis : 29 Maret 2007

NO	KODE SAMPEL	PARAMETER	HASIL PENGUKURAN			METODE
			I	II	III	
1.	Slurry	C (%)	68,779			Gravimetry
2.		N (%)	1,280	1,303		Kjeldahl Destilasi
3.		P (ppm)	341,099	341,099	346,228	UV-Vis. Spect.
4.		K (ppm)	421,488	393,388	400,413	Atomic Absorption Spect.



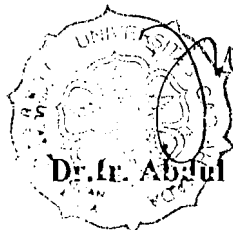
**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
**FAKULTAS PERTANIAN**  
**JURUSAN ILMU TANAH**

Sekip Unit I Yogyakarta, 55281 Telp. 62-274-548814

**Hasil Analisis Pupuk Organik Cair Order Sdr. Yoga Salendra**  
**Sebanyak 3 Contoh III**

No	Kode	C	BO	N tot	P tot	K tot	C/N
		%	%	%	%	%	
1	R 1	0,28	0,48	0,03	0,01	0,09	10,77
2	R 2	0,09	0,16	0,03	0,01	0,08	3,46
3	R 3	0,15	0,27	0,03	0,01	0,09	5,56

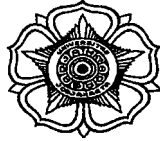
**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Ilmu Tanah,**



**Dr. Ir. Abdul Syukur, SU.**

**Yogyakarta, 8 Maret 2007**  
**Ketua Komisi Pengabdian Masyarakat,**

**Dr. Ir. Benito H. Furwanto, MP.**



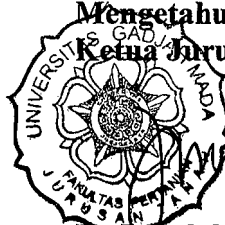

**UNIVERSITAS GADJAH MADA**  
**FAKULTAS PERTANIAN**  
**JURUSAN ILMU TANAH**

Sekip Unit I Yogyakarta, 55281 Telp. 62-274-548814

**Hasil Analisis Tanah Order Sdr. Afandi Rantoliwong -  
Sebanyak 1 Contoh**

Kode	Kadar lengas	C	BO	N tot	P tot	K tot	C/N
	%	%	%	%	%	%	
Pakem	6,56	4,45	8,91	0,14	0,03	0,03	31,79

**Mengetahui,**  
**Ketua Jurusan Ilmu Tanah,**



**Dr. Ir. Abdul Syukur, SU.**

**Yogyakarta, 29 Maret 2007**  
**Ketua Komisi Pengabdian Masyarakat,**



**Dr. Ir. Benito H. Purwanto, MP.**

## Pengamatan pH

Tabel Hasil Pengukuran pH Pada Tiap Reaktor

Hari	Reaktor 1 (90 : 10)		Reaktor 2 (80 : 20)		Reaktor 3 (70 : 30)	
	pagi	sore	pagi	sore	pagi	sore
1	8,4	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
2	8,3	8,3	8,2	8,3	8,3	8,3
3	8,2	8,0	8,1	8,0	8,1	8,1
4	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,9
5	7,9	7,8	7,9	7,8	7,8	7,8
6	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
7	7,8	7,5	7,8	7,6	7,8	7,5
8	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
9	7,6	7,2	7,5	7,2	7,5	7,3
10	7,7	7,6	7,7	7,7	7,7	7,7
11	7,6	7,6	7,6	7,6	7,7	7,6
12	7,6	7,6	7,6	7,6	7,5	7,6
13	7,4	7,5	7,4	7,4	7,4	7,4
14	7,5	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
15	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
16	7,5	7,5	7,6	7,5	7,5	7,5
17	7,5	7,4	7,5	7,5	7,5	7,5
18	7,4	7,4	7,4	7,5	7,4	7,5
19	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
20	7,5	7,4	7,5	7,4	7,4	7,4

Sumber : Hasil analisa laboratorium kualitas air JTL UII

## Lampiran 4

Tabel Analisa Tinggi Tanaman,  
Jumlah Daun, Lebar Daun dan  
Panjang Daun

Tabel 4.5 Analisa tinggi rata-rata tanaman sawi caisin

Minggu	Variasi					
	Produk (cm)	Za (cm)	100 % (cm)	75 % (cm)	50 % (cm)	25 % (cm)
1	13	13	12,7	13,3	12	12,5
2	12,5	23	23	25	21	20
3	33	30	28	32	30	28
4	37,4	34,2	36,7	42,2	33,9	30,3

Sumber : Data primer, Laboratorium Lingkungan UII

Tabel 4.9 Analisa Jumlah Daun Tanaman Sawi Caisin

Minggu	Variasi					
	Produk	Za	100 %	75 %	50 %	25 %
1	3	3	3	3	3	3
2	7	5	5	5	4	4
3	10	7	6	6	5	6
4	15	10	8	8	9	8

Sumber : Data primer, Laboratorium Lingkungan UII

Tabel 4.13 Analisa Lebar Daun Tanaman Sawi Caisin

Minggu	Variasi					
	Produk	Za	100 %	75 %	50 %	25 %
1	3,1	3	3	3,2	3	2,9
2	8,3	7,8	5,8	6,1	6	5,5
3	14,2	11,6	8,1	8,9	8,4	7,1
4	14,6	11,9	12,8	10,5	9,5	8,2

Sumber : Data primer, Laboratorium Lingkungan UII

Tabel 4.17 Analisa Panjang Daun Tanaman Sawi Caisin

Minggu	Variasi					
	Produk	Za	100 %	75 %	50 %	25 %
1	6,5	7	6,7	6,5	6,4	6,5
2	14	11,5	13	12,5	10,6	11
3	20	16	16,5	17	13,5	13
4	20,7	17,6	19,7	24,5	19,1	13,2

Sumber : Data primer, Laboratorium Lingkungan UII

**Gambar-Gambar Penelitian**

**Lampiran 5**



Gambar 2. Slurry murni



Gambar 1. Produk pupuk cair slurry



Lampiran Gambar



Gambar 3. Tanaman sawi caisin dengan perlakuan produk pupuk cair slurry



Gambar 4. Tanaman sawi dengan perlakuan pupuk Za



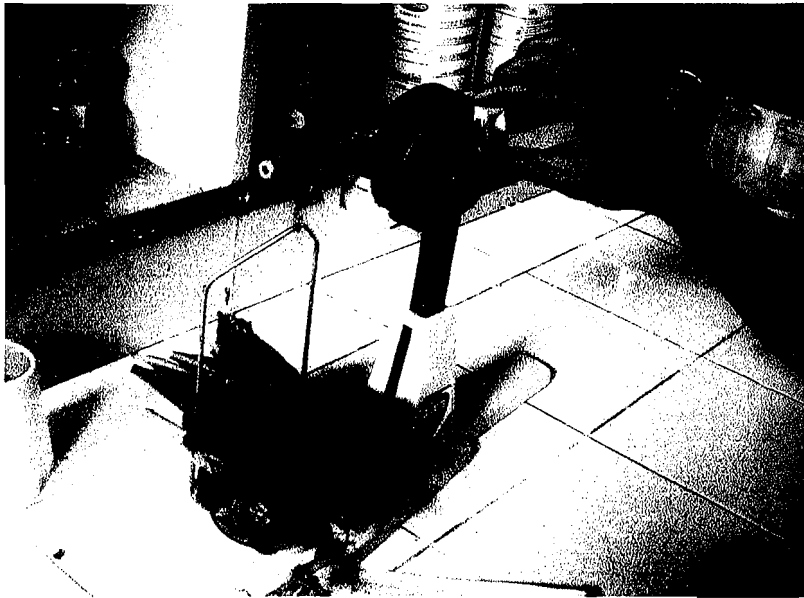
Gambar 5. Tanaman sawi caisin dengan perlakuan Slurry 100%, 75%, 50%, 25%



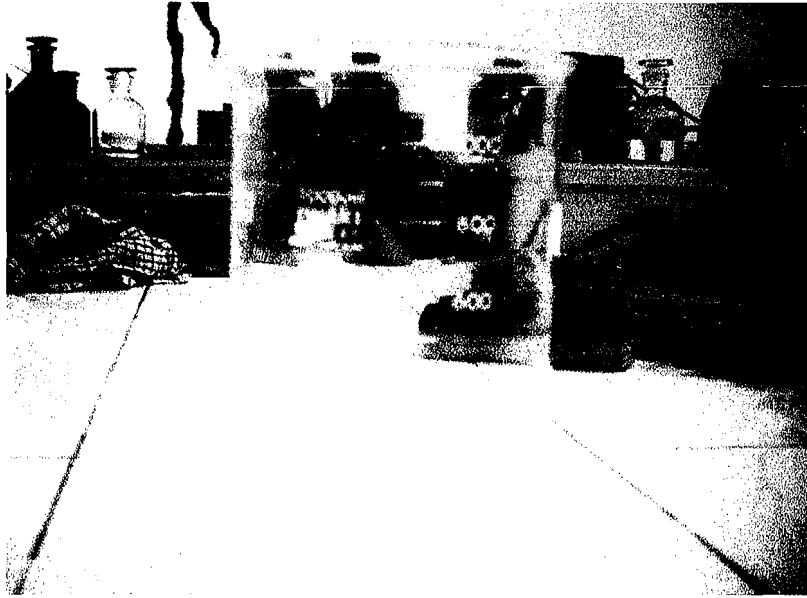
Gambar 6. Tinggi tanaman sawi caisin untuk 6 variasi perlakuan



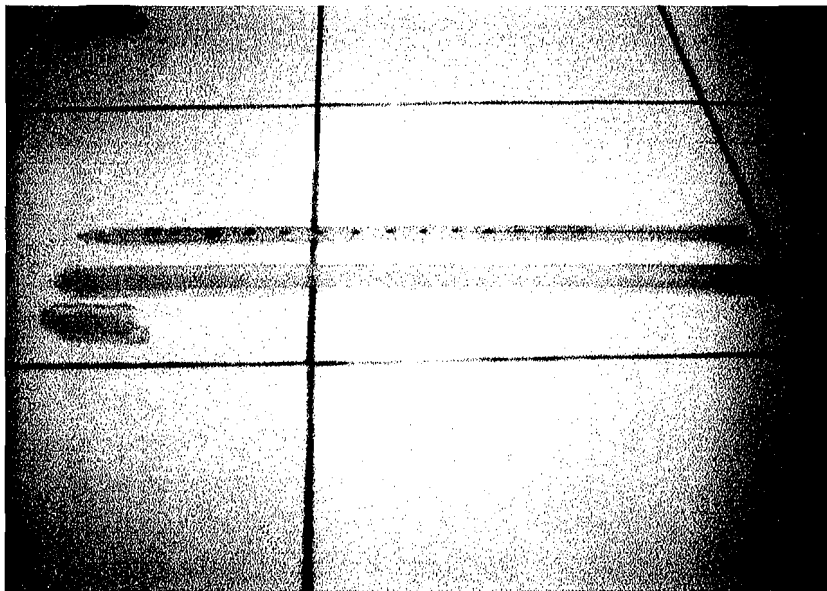
Gambar 7. Analisa Lebar dan Panjang Daun



Gambar 8. Penimbangan untuk berat basah dan berat kering



Gambar 9. Gelas ukur untuk pengenceran slurry



Gambar 10. Pipet ml untuk pengukuran takaran dosis pupuk cair slurry

# Lampiran 6

Data Hasil Uji Statistik

## Oneway

### Descriptives

Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
produk	4	27.2250	10.68032	5.34016	10.2302	44.2198
ZA	4	25.0500	9.26697	4.63348	10.3042	39.7958
100 %	4	22.6000	6.93157	3.46579	11.5703	33.6297
75 %	4	28.1250	12.14726	6.07363	8.7960	47.4540
50 %	4	24.2250	9.77765	4.88883	8.6666	39.7834
25 %	4	22.7000	8.10720	4.05360	9.7996	35.6004
Total	24	24.9875	8.78761	1.79376	21.2768	28.6982

### Descriptives

Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

	Minimum	Maximum
produk	13.00	37.40
ZA	13.00	34.20
100 %	12.70	28.00
75 %	13.30	42.20
50 %	12.00	33.90
25 %	12.50	30.30
Total	12.00	42.20

### Test of Homogeneity of Variances

Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.355	5	18	.872

### ANOVA

Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	105.474	5	21.095	.227	.946
Within Groups	1670.633	18	92.813		
Total	1776.106	23			

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi  
Tukey HSD

(I) Variasi	(J) Variasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
produk	ZA	2.17500	6.81223	.999	-19.4745	23.8245
	100 %	4.62500	6.81223	.982	-17.0245	26.2745
	75 %	-.90000	6.81223	1.000	-22.5495	20.7495
	50 %	3.00000	6.81223	.998	-18.6495	24.6495
	25 %	4.52500	6.81223	.984	-17.1245	26.1745
ZA	produk	-2.17500	6.81223	.999	-23.8245	19.4745
	100 %	2.45000	6.81223	.999	-19.1995	24.0995
	75 %	-3.07500	6.81223	.997	-24.7245	18.5745
	50 %	.82500	6.81223	1.000	-20.8245	22.4745
	25 %	2.35000	6.81223	.999	-19.2995	23.9995
100 %	produk	-4.62500	6.81223	.982	-26.2745	17.0245
	ZA	-2.45000	6.81223	.999	-24.0995	19.1995
	75 %	-5.52500	6.81223	.962	-27.1745	16.1245
	50 %	-1.62500	6.81223	1.000	-23.2745	20.0245
	25 %	-.10000	6.81223	1.000	-21.7495	21.5495
75 %	produk	.90000	6.81223	1.000	-20.7495	22.5495
	ZA	3.07500	6.81223	.997	-18.5745	24.7245
	100 %	5.52500	6.81223	.962	-16.1245	27.1745
	50 %	3.90000	6.81223	.992	-17.7495	25.5495
	25 %	5.42500	6.81223	.965	-16.2245	27.0745
50 %	produk	-3.00000	6.81223	.998	-24.6495	18.6495
	ZA	-.82500	6.81223	1.000	-22.4745	20.8245
	100 %	1.62500	6.81223	1.000	-20.0245	23.2745
	75 %	-3.90000	6.81223	.992	-25.5495	17.7495
	25 %	1.52500	6.81223	1.000	-20.1245	23.1745
25 %	produk	-4.52500	6.81223	.984	-26.1745	17.1245
	ZA	-2.35000	6.81223	.999	-23.9995	19.2995
	100 %	.10000	6.81223	1.000	-21.5495	21.7495
	75 %	-5.42500	6.81223	.965	-27.0745	16.2245
	50 %	-1.52500	6.81223	1.000	-23.1745	20.1245

### Homogeneous Subsets



### Perhitungan Tinggi Daun Tiap Variasi

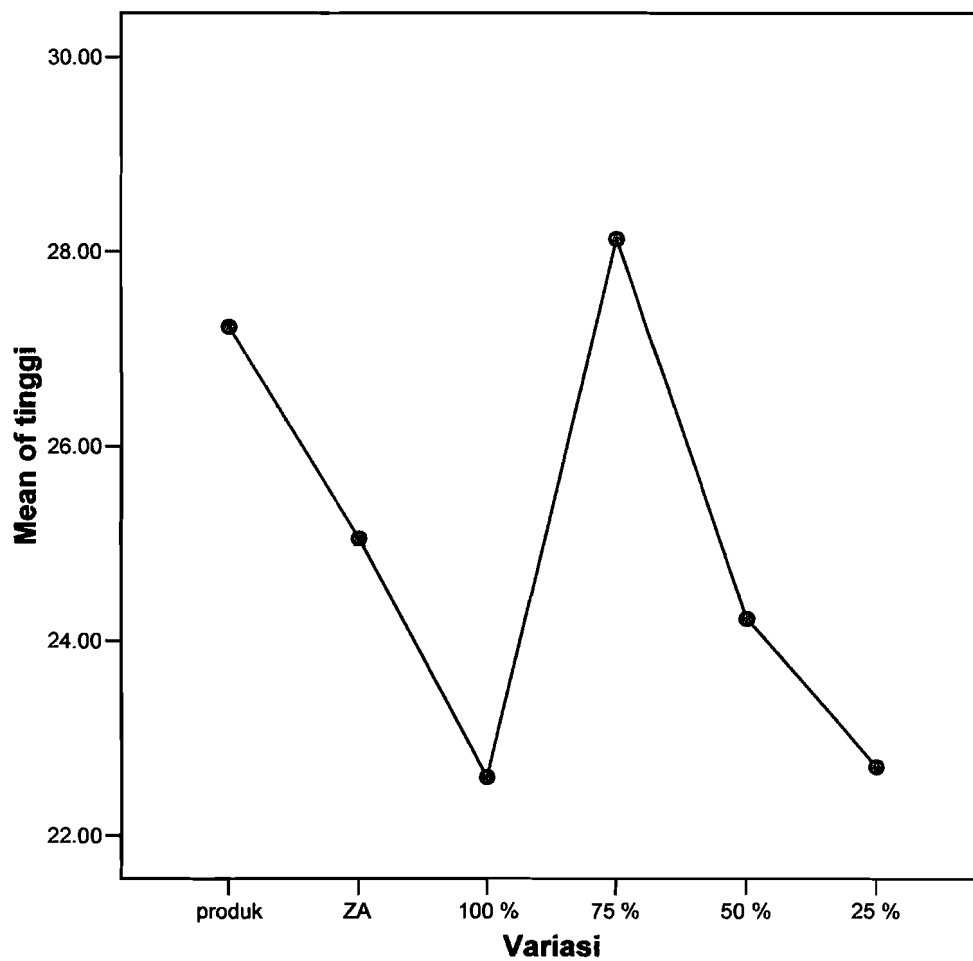
Tukey HSD<sup>a</sup>

Variasi	N	Subset for alpha = . 05
		1
100 %	4	22.6000
25 %	4	22.7000
50 %	4	24.2250
ZA	4	25.0500
produk	4	27.2250
75 %	4	28.1250
Sig.		.962

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

### Means Plots



## Oneway

### Descriptives

Perhitungan panjang daun tiap variasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Produk	4	15.3000	6.59242	3.29621	4.8100	25.7900
ZA	4	13.0250	4.77520	2.38760	5.4266	20.6234
100 %	4	13.9750	5.56859	2.78429	5.1141	22.8359
75 %	4	15.1250	7.58700	3.79350	3.0524	27.1976
50 %	4	12.4000	5.33354	2.66677	3.9131	20.8869
25 %	4	12.4000	5.33354	2.66677	3.9131	20.8869
Total	24	13.7042	5.39400	1.10104	11.4265	15.9819

### Descriptives

Perhitungan panjang daun tiap variasi

	Minimum	Maximum
Produk	6.50	20.70
ZA	7.00	17.60
100 %	6.70	19.70
75 %	6.50	24.50
50 %	6.40	19.10
25 %	6.40	19.10
Total	6.40	24.50

### Test of Homogeneity of Variances

Perhitungan panjang daun tiap variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.260	5	18	.929

### ANOVA

Perhitungan panjang daun tiap variasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34.007	5	6.801	.193	.961
Within Groups	635.183	18	35.288		
Total	669.190	23			

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Perhitungan panjang daun tiap variasi  
Tukey HSD

(I) Variasi	(J) Variasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Produk	ZA	2.27500	4.20047	.994	-11.0742	15.6242
	100 %	1.32500	4.20047	1.000	-12.0242	14.6742
	75 %	.17500	4.20047	1.000	-13.1742	13.5242
	50 %	2.90000	4.20047	.981	-10.4492	16.2492
	25 %	2.90000	4.20047	.981	-10.4492	16.2492
ZA	Produk	-2.27500	4.20047	.994	-15.6242	11.0742
	100 %	-.95000	4.20047	1.000	-14.2992	12.3992
	75 %	-2.10000	4.20047	.996	-15.4492	11.2492
	50 %	.62500	4.20047	1.000	-12.7242	13.9742
	25 %	.62500	4.20047	1.000	-12.7242	13.9742
100 %	Produk	-1.32500	4.20047	1.000	-14.6742	12.0242
	ZA	.95000	4.20047	1.000	-12.3992	14.2992
	75 %	-1.15000	4.20047	1.000	-14.4992	12.1992
	50 %	1.57500	4.20047	.999	-11.7742	14.9242
	25 %	1.57500	4.20047	.999	-11.7742	14.9242
75 %	Produk	-.17500	4.20047	1.000	-13.5242	13.1742
	ZA	2.10000	4.20047	.996	-11.2492	15.4492
	100 %	1.15000	4.20047	1.000	-12.1992	14.4992
	50 %	2.72500	4.20047	.985	-10.6242	16.0742
	25 %	2.72500	4.20047	.985	-10.6242	16.0742
50 %	Produk	-2.90000	4.20047	.981	-16.2492	10.4492
	ZA	-.62500	4.20047	1.000	-13.9742	12.7242
	100 %	-1.57500	4.20047	.999	-14.9242	11.7742
	75 %	-2.72500	4.20047	.985	-16.0742	10.6242
	25 %	.00000	4.20047	1.000	-13.3492	13.3492
25 %	Produk	-2.90000	4.20047	.981	-16.2492	10.4492
	ZA	-.62500	4.20047	1.000	-13.9742	12.7242
	100 %	-1.57500	4.20047	.999	-14.9242	11.7742
	75 %	-2.72500	4.20047	.985	-16.0742	10.6242
	50 %	.00000	4.20047	1.000	-13.3492	13.3492

### Homogeneous Subsets

### Perhitungan panjang daun tiap variasi

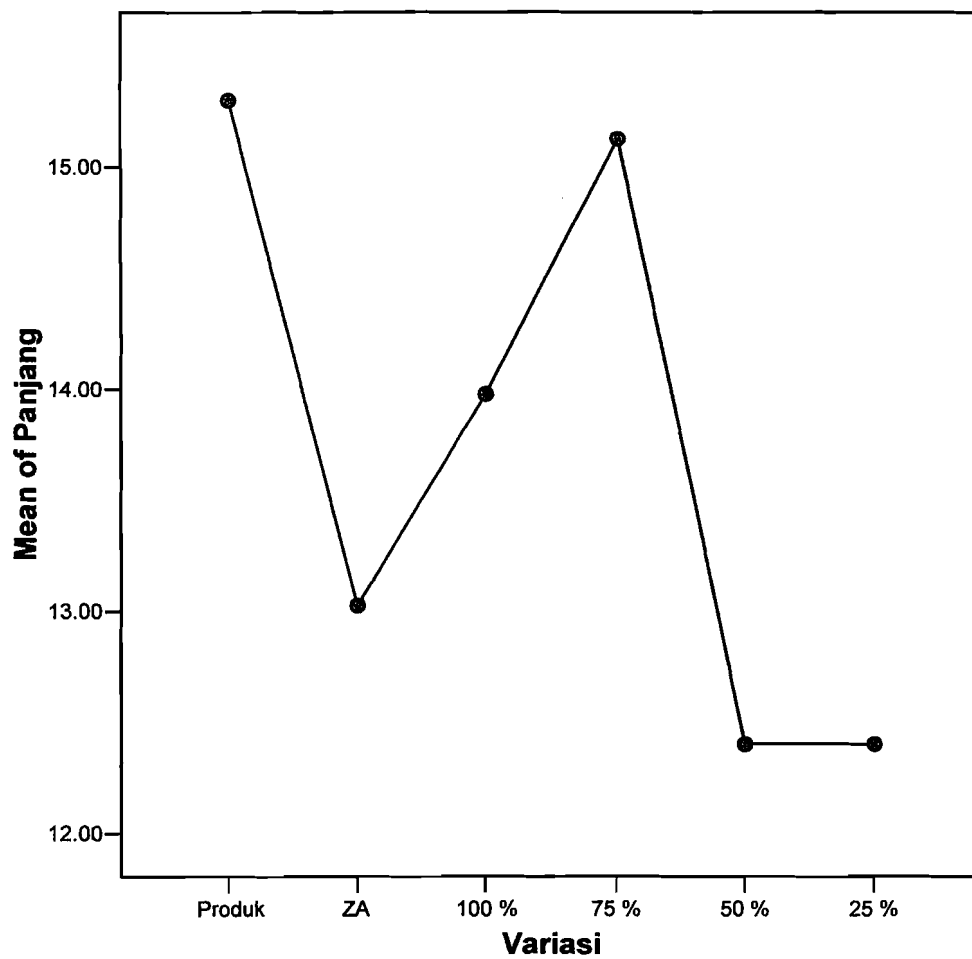
Tukey HSD<sup>a</sup>

Variasi	N	Subset for alpha = . 05
		1
50 %	4	12.4000
25 %	4	12.4000
ZA	4	13.0250
100 %	4	13.9750
75 %	4	15.1250
Produk	4	15.3000
Sig.		.981

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

### Means Plots



## Oneway

### Descriptives

Perhitungan lebar daun tiap variasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Produk	4	10.0500	5.45558	2.72779	1.3690	18.7310
ZA	4	8.5750	4.15883	2.07941	1.9574	15.1926
100 %	4	7.4250	4.14598	2.07299	.8278	14.0222
75 %	4	7.1750	3.21390	1.60695	2.0610	12.2890
50 %	4	6.7250	2.88141	1.44070	2.1400	11.3100
25 %	4	5.9250	2.30127	1.15063	2.2632	9.5868
Total	24	7.6458	3.65596	.74627	6.1021	9.1896

### Descriptives

Perhitungan lebar daun tiap variasi

	Minimum	Maximum
Produk	3.10	14.60
ZA	3.00	11.90
100 %	3.00	12.80
75 %	3.20	10.50
50 %	3.00	9.50
25 %	2.90	8.20
Total	2.90	14.60

### Test of Homogeneity of Variances

Perhitungan lebar daun tiap variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.092	5	18	.399

### ANOVA

Perhitungan lebar daun tiap variasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	42.892	5	8.578	.584	.712
Within Groups	264.528	18	14.696		
Total	307.420	23			

## Post Hoc Tests

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Perhitungan lebar daun tiap variasi  
Tukey HSD

(I) Variasi	(J) Variasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Produk	ZA	1.47500	2.71072	.993	-7.1398	10.0898
	100 %	2.62500	2.71072	.922	-5.9898	11.2398
	75 %	2.87500	2.71072	.890	-5.7398	11.4898
	50 %	3.32500	2.71072	.818	-5.2898	11.9398
	25 %	4.12500	2.71072	.656	-4.4898	12.7398
ZA	Produk	-1.47500	2.71072	.993	-10.0898	7.1398
	100 %	1.15000	2.71072	.998	-7.4648	9.7648
	75 %	1.40000	2.71072	.995	-7.2148	10.0148
	50 %	1.85000	2.71072	.982	-6.7648	10.4648
	25 %	2.65000	2.71072	.919	-5.9648	11.2648
100 %	Produk	-2.62500	2.71072	.922	-11.2398	5.9898
	ZA	-1.15000	2.71072	.998	-9.7648	7.4648
	75 %	.25000	2.71072	1.000	-8.3648	8.8648
	50 %	.70000	2.71072	1.000	-7.9148	9.3148
	25 %	1.50000	2.71072	.993	-7.1148	10.1148
75 %	Produk	-2.87500	2.71072	.890	-11.4898	5.7398
	ZA	-1.40000	2.71072	.995	-10.0148	7.2148
	100 %	-.25000	2.71072	1.000	-8.8648	8.3648
	50 %	.45000	2.71072	1.000	-8.1648	9.0648
	25 %	1.25000	2.71072	.997	-7.3648	9.8648
50 %	Produk	-3.32500	2.71072	.818	-11.9398	5.2898
	ZA	-1.85000	2.71072	.982	-10.4648	6.7648
	100 %	-.70000	2.71072	1.000	-9.3148	7.9148
	75 %	-.45000	2.71072	1.000	-9.0648	8.1648
	25 %	.80000	2.71072	1.000	-7.8148	9.4148
25 %	Produk	-4.12500	2.71072	.656	-12.7398	4.4898
	ZA	-2.65000	2.71072	.919	-11.2648	5.9648
	100 %	-1.50000	2.71072	.993	-10.1148	7.1148
	75 %	-1.25000	2.71072	.997	-9.8648	7.3648
	50 %	-.80000	2.71072	1.000	-9.4148	7.8148

### Homogeneous Subsets

### Perhitungan lebar daun tiap variasi

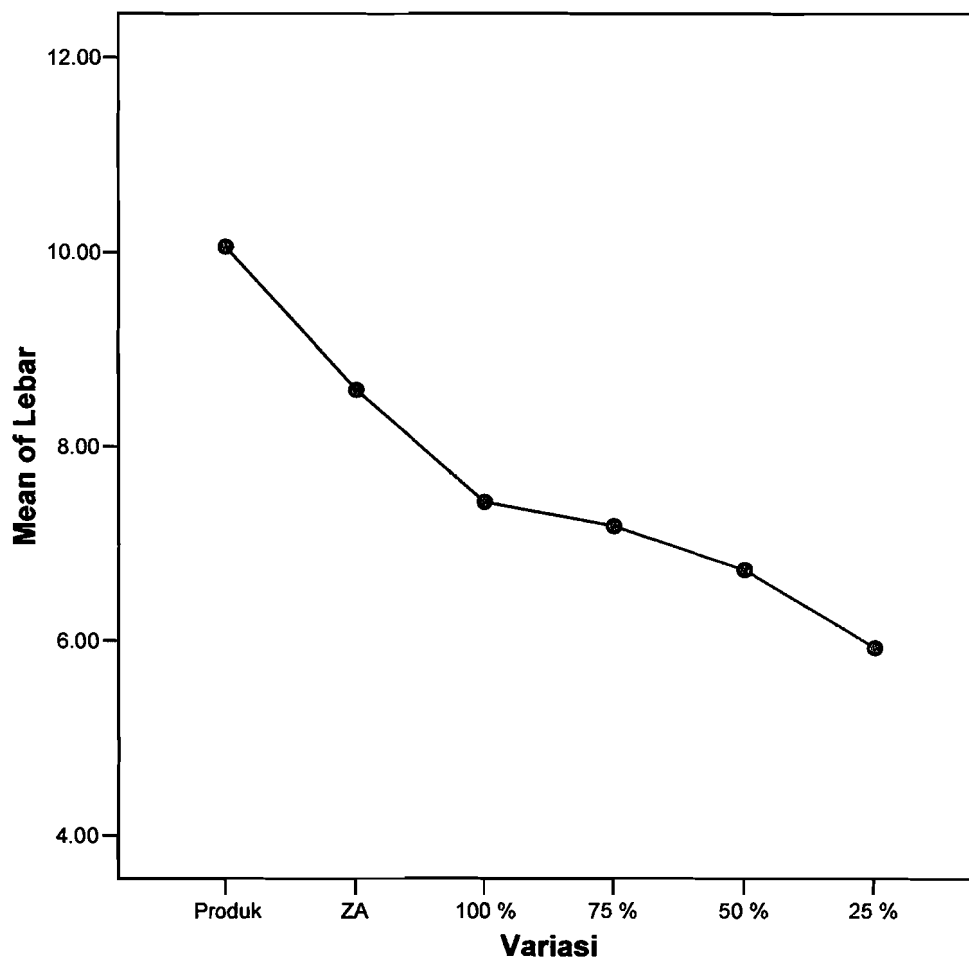
Tukey HSD<sup>a</sup>

Variasi	N	Subset for alpha = . 05
		1
25 %	4	5.9250
50 %	4	6.7250
75 %	4	7.1750
100 %	4	7.4250
ZA	4	8.5750
Produk	4	10.0500
Sig.		.656

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

### Means Plots



## Oneway

### Descriptives

Perhitungan jumlah daun tiap variasi

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean	
					Lower Bound	Upper Bound
Produk	4	8.75	5.058	2.529	.70	16.80
ZA	4	6.25	2.986	1.493	1.50	11.00
100 %	4	5.50	2.082	1.041	2.19	8.81
75 %	4	5.50	2.082	1.041	2.19	8.81
50 %	4	5.25	2.630	1.315	1.07	9.43
25 %	4	5.25	2.217	1.109	1.72	8.78
Total	24	6.08	2.962	.605	4.83	7.33

### Descriptives

Perhitungan jumlah daun tiap variasi

	Minimum	Maximum
Produk	3	15
ZA	3	10
100 %	3	8
75 %	3	8
50 %	3	9
25 %	3	8
Total	3	15

### Test of Homogeneity of Variances

Perhitungan jumlah daun tiap variasi

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.186	5	18	.355

### ANOVA

Perhitungan jumlah daun tiap variasi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	36.833	5	7.367	.804	.562
Within Groups	165.000	18	9.167		
Total	201.833	23			

## Post Hoc Tests



### Multiple Comparisons

Dependent Variable: Perhitungan jumlah daun tiap variasi  
Tukey HSD

(I) Variasi	(J) Variasi	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Produk	ZA	2.500	2.141	.846	-4.30	9.30
	100 %	3.250	2.141	.658	-3.55	10.05
	75 %	3.250	2.141	.658	-3.55	10.05
	50 %	3.500	2.141	.588	-3.30	10.30
	25 %	3.500	2.141	.588	-3.30	10.30
ZA	Produk	-2.500	2.141	.846	-9.30	4.30
	100 %	.750	2.141	.999	-6.05	7.55
	75 %	.750	2.141	.999	-6.05	7.55
	50 %	1.000	2.141	.997	-5.80	7.80
	25 %	1.000	2.141	.997	-5.80	7.80
100 %	Produk	-3.250	2.141	.658	-10.05	3.55
	ZA	-.750	2.141	.999	-7.55	6.05
	75 %	.000	2.141	1.000	-6.80	6.80
	50 %	.250	2.141	1.000	-6.55	7.05
	25 %	.250	2.141	1.000	-6.55	7.05
75 %	Produk	-3.250	2.141	.658	-10.05	3.55
	ZA	-.750	2.141	.999	-7.55	6.05
	100 %	.000	2.141	1.000	-6.80	6.80
	50 %	.250	2.141	1.000	-6.55	7.05
	25 %	.250	2.141	1.000	-6.55	7.05
50 %	Produk	-3.500	2.141	.588	-10.30	3.30
	ZA	-1.000	2.141	.997	-7.80	5.80
	100 %	-.250	2.141	1.000	-7.05	6.55
	75 %	-.250	2.141	1.000	-7.05	6.55
	25 %	.000	2.141	1.000	-6.80	6.80
25 %	Produk	-3.500	2.141	.588	-10.30	3.30
	ZA	-1.000	2.141	.997	-7.80	5.80
	100 %	-.250	2.141	1.000	-7.05	6.55
	75 %	-.250	2.141	1.000	-7.05	6.55
	50 %	.000	2.141	1.000	-6.80	6.80

### Homogeneous Subsets

### Perhitungan jumlah daun tiap variasi

Tukey HSD<sup>a</sup>

Variasi	N	Subset for alpha = . 05
		1
50 %	4	5.25
25 %	4	5.25
100 %	4	5.50
75 %	4	5.50
ZA	4	6.25
Produk	4	8.75
Sig.		.588

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 4.000.

### Means Plots

